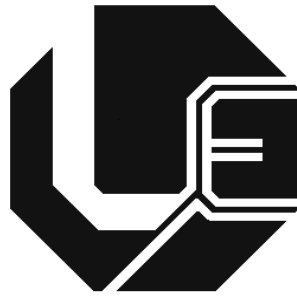


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**



**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE**  
**MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA**  
**ATIVA EM CONDIÇÕES DISTORCIDAS**  
**E DESEQUILIBRADAS**

**Gabriel Miyasaka**

**Uberlândia**  
**2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE**  
**MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA**  
**ATIVA EM CONDIÇÕES DISTORCIDAS E**  
**DESEQUILIBRADAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

**BANCA EXAMINADORA:**

José Rubens Macedo Junior, **Dr – UFU (Orientador)**  
Wellington Maycon Santos Bernardes, **Dr – UFU**  
Jacques Miranda Filho, **Dr – IFES/ES**

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M685 2020	<p>Miyasaka, Gabriel, 1995- Análise do desempenho de medidores de energia elétrica ativa em condições distorcidas e desequilibradas [recurso eletrônico] / Gabriel Miyasaka. - 2020.</p> <p>Orientador: José Rubens Macedo Junior. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.123">http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.123</a> Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Engenharia elétrica. I. Macedo Junior, José Rubens ,1972-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621.3</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE  
MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA  
ATIVA EM CONDIÇÕES DISTORCIDAS E  
DESEQUILIBRADAS

Gabriel Miyasaka

Dissertação apresentada por Gabriel Miyasaka à Universidade  
Federal de Uberlândia para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

---

Prof. José Rubens Macedo Junior, Dr.  
Orientador

---

Prof. José Roberto Camacho, Ph.D.  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia Elétrica



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3N - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
Telefone: (34) 3239-4707 - www.posgrad.feelt.ufu.br - copel@ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Elétrica				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 727, PPGEELT.				
Data:	Vinte e sete de janeiro de dois mil e vinte	Hora de início:	08:30	Hora de encerramento:	11:00
Matrícula do Discente:	11812EEL015				
Nome do Discente:	Gabriel Miyasaka				
Título do Trabalho:	Análise do desempenho de medidores de energia elétrica ativa em condições distorcidas e desequilibradas.				
Área de concentração:	Sistemas de energia elétrica				
Linha de pesquisa:	Distribuição de energia elétrica				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Título: Desenvolvimento de uma nova metodologia para quantificação das perdas técnicas da distribuição em condições distorcidas e desequilibradas Agência Financiadora: ENERGISA Início: 31/07/2018 Término: 30/07/2020 No. do Projeto na Agência: PD-00404-1803/2018 Professor Coordenador: José Rubens Macedo Junior				

Reuniu-se no Anfiteatro 1E, Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores Doutores: Wellington Maycon Santos Bernardes - FEELT/UFU; Jacques Miranda Filho - IFES-ES; José Rubens Macedo Junior - FEELT/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). José Rubens Macedo Junior, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

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

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Mestre**.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

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



Documento assinado eletronicamente por **José Rubens Macedo Junior, Presidente**, em 27/01/2020, às 13:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wellington Maycon Santos Bernardes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/01/2020, às 13:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jacques Miranda Filho, Usuário Externo**, em 27/01/2020, às 13:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1755949** e o código CRC **2ECEE704**.

# DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho ao meu pai Miguel (em memória), por todas as boas lembranças que ficarão marcadas para sempre em minha memória.*

# AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter me dado forças e me ajudado em todos os momentos que mais precisei.

Ao professor José Rubens Macedo Junior, meu agradecimento pela orientação, ajuda, amizade e confiança a mim depositada que, sem dúvidas, foram fundamentais para a realização deste trabalho e para a formação do profissional que sou hoje.

À minha mãe Rosiléa e ao meu irmão Jean, por sempre acreditarem em mim e me incentivarem a correr atrás de todos os meus sonhos.

Aos meus padrinhos João e Aparecida, por terem me ajudado nos momentos em que mais precisei, por serem exemplos de bondade, humildade e vontade de ajudar o próximo, e por ajudarem a formar o ser humano que sou hoje.

Aos amigos do LADEE, Guilherme Leal, Eduardo Tavares, Lara Braz, Isaque Gondim, Raphael Barata, Rodrigo Nobis e Hélio Rubens, pela amizade e apoio durante todo o período em que trabalhamos juntos.

A todos os professores e funcionários da FEELT, por terem sido a base da minha formação profissional.

À CAPES pelo subsídio financeiro.

À Energisa pelo suporte financeiro por meio de seu programa de Pesquisa e Desenvolvimento e pelas valiosas informações fornecidas para a realização deste trabalho.



# RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação da perda interna ativa e também dos desvios de medição em condições distorcidas e desequilibradas para medidores eletromecânicos e eletrônicos. Sobre a perda interna ativa de medidores, verifica-se uma grande diferença entre os valores normatizados por diferentes regulamentos existentes na atualidade. Diante da necessidade de se verificar quais valores seriam mais condizentes com a perda interna real, foram feitos testes em diferentes medidores com a utilização de um wattímetro de precisão para uma possível adequação dos valores normativos. Por fim, em relação aos desvios de medição, os estudos já realizados pela comunidade científica mostram que os medidores podem operar de maneira inadequada em ambientes distorcidos e desequilibrados, uma vez que tais aparelhos foram desenvolvidos para operar em ambientes senoidais e equilibrados, situação essa que não condiz com a realidade do sistema elétrico. Diante do exposto, foram realizados um total de 32 testes de calibração para cada medidor ensaiado. Em ambas as análises, tanto da perda interna, quanto de desvios de medição, foi utilizada uma quantidade de medidores que representa a quase totalidade dos modelos utilizados no parque de medição brasileiro atualmente, dando assim uma maior robustez ao trabalho.

**Palavras-chave:** Perda interna ativa, desvios de medição, condições distorcidas e desequilibradas.

# ABSTRACT

The present work aims to evaluate the active internal power loss and also the measurement deviations in distorted and unbalanced conditions for electromechanical and electronic meters. About the active internal power loss of meters, there is a big difference between the values standardized by different existing regulations. Under the need to verify which values would be more consistent with the actual internal power loss, tests were performed on different meters using a precision wattmeter for possible adjustment of the normative values. Finally, studies about measurement deviations realized by the scientific community show that meters may operate improperly in distorted and unbalanced environments, as such devices are designed to operate in sinusoidal and balanced environments, which does not correspond to the reality of the electrical system. Based on the above, a total of 32 calibration tests were performed for each meter tested. In both analyzes, internal power loss and measurement deviations, a significant number of meters were used, representing almost the totality of models used for measurement in Brazil today, thus giving greater robustness to the work.

**Keywords:** Active internal power loss, measurement deviations, distorted and unbalanced conditions.

# SUMÁRIO

## CAPÍTULO I

<b>Introdução.....</b>	<b>15</b>
------------------------	-----------

## CAPÍTULO II

<b>Fundamentos teóricos .....</b>	<b>19</b>
-----------------------------------	-----------

2.1	O medidor de energia elétrica.....	19
2.1.1	O medidor eletromecânico.....	20
2.1.1.1	Princípio de funcionamento .....	21
2.1.2	O medidor eletrônico .....	28
2.1.3	Da constante $Kh$ .....	29
2.2	Desenvolvimento analítico .....	30
2.3	O impacto das perdas internas e dos desvios de medição nas perdas de energia .....	36

## CAPÍTULO III

<b>Perdas internas de medidores .....</b>	<b>40</b>
---	-----------

3.1	Estrutura laboratorial .....	40
3.2	Regulamentação ANEEL e INMETRO.....	41
3.2.1	Portaria INMETRO 285/2008 .....	41
3.2.2	Portaria INMETRO 587/2012 .....	42
3.2.3	Módulo 7 do PRODIST .....	42
3.3	Resultados obtidos .....	43
3.3.1	Análise da perda interna ativa em medidores de energia elétrica .....	44
3.3.2	Análise de outras grandezas elétricas em medidores de energia elétrica.....	50
3.3.3	Proposta de alteração da perda interna regulatória .....	54
3.3.4	Análise do impacto financeiro .....	56
3.4	Considerações finais .....	58

## CAPÍTULO IV

<b>Desvios de medição.....</b>	<b>59</b>
--------------------------------	-----------

4.1	Elaboração e realização de testes de desempenho .....	59
4.2	Estrutura laboratorial .....	60
4.3	Resultados dos testes de calibração .....	62
4.3.1	Módulo I – Tensões e correntes puramente senoidais .....	63
4.3.1.1	Teste I.1 – Tensões e correntes senoidais (Resistivo).....	63
4.3.1.2	Teste I.2 – Tensões e correntes senoidais (Indutivo).....	64
4.3.1.3	Teste I.3 – Tensões e correntes senoidais (Capacitivo).....	66
4.3.2	Módulo II – Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais.....	67
4.3.2.1	Teste II.1 – Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais (Resistivo) .....	67
4.3.2.2	Teste II.2 – Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais (Indutivo) .....	68
4.3.2.3	Teste II.3 – Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais (Capacitivo).....	69
4.3.3	Módulo III – Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas .....	71
4.3.3.1	Teste III.1 – Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas (Resistivo).....	71
4.3.3.2	Teste III.2 – Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas (Indutivo) .....	72
4.3.3.3	Teste III.3 – Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas (Capacitivo) .....	73
4.3.4	Módulo IV – Tensões e correntes distorcidas com ordens distintas.....	75
4.3.4.1	Teste IV.1 – Tensões e correntes distorcidas com ordens distintas (Resistivo) .....	75
4.3.4.2	Teste IV.2 – Tensões e correntes distorcidas com ordens distintas (Resistivo) .....	76
4.3.4.3	Teste IV.3 – Tensões e correntes distorcidas com ordens distintas (Resistivo) .....	77
4.3.5	Módulo V – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem – Fluxo Fonte/Carga.....	78
4.3.5.1	Teste V.1 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica resistiva) – Fluxo Fonte/Carga.....	78
4.3.5.2	Teste V.2 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica indutiva) – Fluxo Fonte/Carga.....	79
4.3.5.3	Teste V.3 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica capacitiva) – Fluxo Fonte/Carga.....	81
4.3.6	Módulo VI – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem – Fluxo Carga/Fonte.....	82
4.3.6.1	Teste VI.1 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica resistiva) – Fluxo Carga/Fonte.....	82
4.3.6.2	Teste VI.2 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica indutiva) – Fluxo Carga/Fonte.....	83
4.3.6.3	Teste VI.3 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica capacitiva) – Fluxo Carga/Fonte.....	85
4.3.7	Módulo VII – Tensões e correntes distorcidas – sinais característicos.....	86
4.3.7.1	Teste VII.1 - NBR 14520 (5.7.3) – Determinação de $eI$ .....	86
4.3.7.2	Teste VII.2 - NBR 14520 (5.7.3).....	87
4.3.7.3	Teste VII.3 - NBR 14520 (5.7.4).....	89
4.3.7.4	Teste VII.4 - Espectro tipicamente residencial.....	89
4.3.7.5	Teste VII.5 - Retificador de meia-onda com tensão senoidal.....	91
4.3.7.6	Teste VII.6 - Circuito <i>dimmer</i> com disparo em $90^\circ$ .....	92
4.3.7.7	Teste VII.7 - Circuito <i>dimmer</i> com disparo em $135^\circ$ .....	93
4.3.7.8	Teste VII.8 - Circuito <i>dimmer</i> com disparo em $90^\circ$ + conjunto de lâmpadas.....	94
4.3.7.9	Teste VII.9 - Circuito <i>dimmer</i> com disparo em $135^\circ$ + conjunto de lâmpadas.....	95
4.3.8	Módulo VIII – Circuito trifásico desequilibrado .....	96
4.3.8.1	Teste VIII.1 - Circuito trifásico desequilibrado (sem harmônicas) .....	96
4.3.8.2	Teste VIII.2 - Circuito trifásico desequilibrado (sem harmônicas – falta de fase) .....	97
4.3.8.3	Teste VIII.3 - Circuito trifásico desequilibrado (com harmônicas).....	98
4.3.8.4	Teste VIII.4 - Teste NBR 14520 (5.7.5) – Determinação de $eI$ .....	99
4.3.8.5	Teste VIII.5 - Teste NBR 14520 (5.7.5) – sequência de fase invertida.....	100
4.4	Síntese dos resultados.....	101
4.5	Considerações finais.....	102

## **CAPÍTULO V**

### **Conclusões..... 103**

5.1 Propostas para os próximos passos do trabalho.....104

### **Referências bibliográficas..... 106**

## **APÊNDICE I**

### **Mapa de perdas internas de medidores..... 108**

## **APÊNDICE II**

### **Caderno de testes e resultados dos desvios de medição..... 111**

## **APÊNDICE III**

### **Resumo dos resultados obtidos para os desvios de medição..... 122**

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O medidor eletromecânico [5].	20
Figura 2 - Esquema dos fluxos no disco [5].	22
Figura 3 - Formas de onda de tensão e corrente [5].	23
Figura 4 - Intervalo a-b: $\varphi V$ decresce, $\varphi I$ cresce [5].	23
Figura 5 - Intervalo b-c: $\varphi V$ cresce, $\varphi I$ decresce [5].	24
Figura 6 - Intervalo c-d: $\varphi V$ decresce, $\varphi I$ cresce [5].	24
Figura 7 - Intervalo d-e: $\varphi V$ cresce, $\varphi I$ decresce [5].	24
Figura 8 - Diagrama de blocos - medidor eletrônico [10].	29
Figura 9 - Representação no domínio do tempo da potência instantânea total decomposta. ...	32
Figura 10 - Representação no domínio do tempo da componente de potência harmônica instantânea decomposta. ....	32
Figura 11 - Representação no domínio do tempo da componente $pv1iht$ decomposta.....	33
Figura 12 - Representação no domínio do tempo da componente $pvhi1t$ decomposta. ....	33
Figura 13 - Estrutura do arranjo experimental.....	35
Figura 14 - Regulação das perdas por incentivos [14]......	38
Figura 15 - Estrutura laboratorial para levantamento das perdas internas. ....	41
Figura 16 - Perda interna ativa medida em medidores eletromecânicos. ....	44
Figura 17 - Perda interna ativa medida em medidores eletrônicos.....	45
Figura 18 - Resumo dos resultados de perdas internas considerando a tensão nominal da rede BT (127/220V). ....	46
Figura 19 - Medidores eletromecânicos - perda interna ativa em função da faixa de tensão adequada estabelecida pela ANEEL.....	47
Figura 20 - Medidores eletrônicos - perda interna ativa em função da faixa de tensão adequada estabelecida pela ANEEL. ....	47
Figura 21 - Perda interna ativa em medidores eletromecânicos por nível de tensão.....	48
Figura 22 - Perda interna ativa em medidores eletrônicos por nível de tensão. ....	49
Figura 23 - Medidores eletrônicos de mesmo modelo do tipo multitensão.....	50
Figura 24 - Perda interna aparente medida. ....	51
Figura 25 - Potência interna reativa do circuito de tensão. ....	52
Figura 26 - Distorção Harmônica Total de corrente do circuito de tensão.....	53
Figura 27 - Análise estatística de perdas internas ativas - medidores eletromecânicos. ....	55
Figura 28 - Análise estatística de perdas internas ativas - medidores eletrônicos.....	55
Figura 29 - Análise do impacto da nova proposta.....	56
Figura 30 - Custo financeiro de perdas internas ativas considerando-se a perda interna regulatória vigente no âmbito da ANEEL. ....	57
Figura 31 - Custo financeiro de perdas internas regulatórias considerando-se a nova proposta. ....	57
Figura 32 - Estrutura laboratorial utilizada para realização dos testes de calibração em medidores. ....	61
Figura 33 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste I.1. ....	64
Figura 34 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste I.1.....	64
Figura 35 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste I.2. ....	65

Figura 36 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste I.2.....	65
Figura 37 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste I.3. ....	66
Figura 38 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste I.3.....	66
Figura 39 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste II.1. ....	67
Figura 40 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste II.1. ....	68
Figura 41 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste II.2. ....	69
Figura 42 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste II.2. ....	69
Figura 43 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste II.3. ....	70
Figura 44 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste II.3. ....	70
Figura 45 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste III.1. ....	71
Figura 46 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste III.1. ....	72
Figura 47 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste III.2. ....	72
Figura 48 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste III.2. ....	73
Figura 49 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste III.3. ....	74
Figura 50 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste III.3. ....	74
Figura 51 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste IV.1.....	75
Figura 52 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste IV.1.....	75
Figura 53 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste IV.2.....	76
Figura 54 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste IV.2.....	76
Figura 55 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste IV.3.....	77
Figura 56 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste IV.3.....	77
Figura 57 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste V.1. ....	78
Figura 58 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste V.1. ....	79
Figura 59 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste V.2.....	80
Figura 60 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste V.2. ....	80

Figura 61 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste V.3.....	81
Figura 62 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste V.3.....	81
Figura 63 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VI.1.....	82
Figura 64 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VI.1.....	83
Figura 65 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VI.2.....	84
Figura 66 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VI.2.....	84
Figura 67 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VI.3.....	85
Figura 68 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VI.3.....	85
Figura 69 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.1.....	87
Figura 70 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.1.....	87
Figura 71 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.2.....	88
Figura 72 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.2.....	88
Figura 73 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.3.....	89
Figura 74 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.3.....	89
Figura 75 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.4.....	90
Figura 76 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.4.....	90
Figura 77 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.5.....	91
Figura 78 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.5.....	91
Figura 79 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.6.....	92
Figura 80 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.6.....	92
Figura 81 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.7.....	93
Figura 82 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.7.....	93
Figura 83 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.8.....	94
Figura 84 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.8.....	94
Figura 85 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.9.....	95



Figura 86 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.9.....	95
Figura 87 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VIII.1.....	96
Figura 88 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VIII.1.....	96
Figura 89 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VIII.2.....	97
Figura 90 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VIII.2.....	97
Figura 91 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VIII.3.....	98
Figura 92 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VIII.3.....	98
Figura 93 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VIII.4.....	99
Figura 94 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VIII.4.....	99
Figura 95 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VIII.5.....	100
Figura 96 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VIII.5.....	100
Figura 97 - Síntese dos resultados de desvio de medição.....	101

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados teóricos obtidos para o exemplo numérico .....	34
Tabela 2 - Resultados obtidos nos testes de laboratório.....	35
Tabela 3 - Perdas máximas admissíveis para medidores multigrandeza ou multifunção. ....	42
Tabela 4 - P <sub>mix</sub> das distribuidoras analisadas.....	57
Tabela 5 – Resumo dos testes realizados. ....	59
Tabela 6 – Resultados de perdas internas comparados com os valores regulatórios atuais. ..	108
Tabela 7 - Resultados de perdas internas comparados com os valores regulatórios propostos. .....	109
Tabela 8 - Quantidade de medidores por distribuidora do Grupo Energisa. ....	110
Tabela 9 - Resumo dos desvios de medição para medidores eletromecânicos tomando como referência <i>P</i> 1. ....	122
Tabela 10 - Resumo dos desvios de medição para medidores eletromecânicos tomando como referência <i>P</i> .....	123
Tabela 11 - Resumo dos desvios de medição para medidores eletrônicos tomando como referência <i>P</i> 1. ....	124
Tabela 12 - Resumo dos desvios de medição para medidores eletrônicos tomando como referência <i>P</i> .....	125

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a energia elétrica é um insumo imprescindível para a sociedade, sendo necessária para a realização de diversas atividades. Nas residências, a eletricidade é fundamental para a utilização de aparelhos como chuveiros, geladeiras, fontes de alimentação de aparelhos televisores, celulares, etc. No setor industrial é responsável pela força motriz, alimentando motores cujo papel é fundamental para o desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. Até mesmo no agronegócio, antes atividades que eram feitas manualmente foram sendo substituídas cada vez mais por uso de instrumentos tecnológicos, como equipamentos de ordenha, resfriadores, irrigadores, etc.

Historicamente, observa-se em alguns países que o crescimento econômico sempre vem acompanhado de um aumento de consumo e demanda de energia elétrica. Além de permitir o crescimento econômico, a eletricidade também é a maior fonte de energia utilizada hoje para avanços na ciência e tecnologia.

Para a estimação do consumo de energia são necessários equipamentos que meçam potência e/ou energia elétrica da maneira mais exata possível, visto que essas são grandezas de interesse econômico, tanto para concessionárias de energia elétrica quanto para consumidores, uma vez que ambos podem ter grandes benefícios ou prejuízos devido a uma incorreta operação desses aparelhos.

Antes de serem instalados, os medidores de energia precisam passar por alguns testes obedecendo normas específicas a fim de verificar a sua calibração. Contudo, tais aparelhos foram construídos para trabalhar em condições senoidais e equilibradas de operação, situação essa que não condiz com a realidade do sistema elétrico.

Nos últimos anos, a descoberta da propriedade semicondutora permitiu o surgimento e desenvolvimento da eletrônica. Tais componentes eletrônicos possuem como princípio de funcionamento o controle da corrente de carga através de chaveamentos. Esse fato faz com que, via de regra, a corrente elétrica possua um certo nível de distorção harmônica. Isto caracteriza uma relação entre tensão e corrente não linear e, portanto, tais cargas são também denominadas de não lineares. Com isso, verificou-se um grande aumento no nível da distorção harmônica da rede elétrica. Tal condição faz com que alguns aparelhos operem de maneira indesejada, incluindo os medidores de energia elétrica ativa, foco deste trabalho.

A preocupação com a performance de medidores em condições não senoidais não é atual. Um dos primeiros trabalhos a tratar do assunto foi publicado por [1] no ano de 1981. Nesse trabalho, foi feita uma análise experimental e teórica do erro em medidores

eletromecânicos operando especificamente em circuitos retificadores e inversores. Foi possível ver que, sob determinadas condições, a velocidade do disco aumenta, registrando valores de energia maiores do que o padrão.

Até então, a maioria dos trabalhos publicados na época eram feitos para medidores eletromecânicos, uma vez que essa era a única tecnologia existente na época. O desenvolvimento dos medidores eletrônicos trouxe uma grande curiosidade à comunidade científica quanto à sua operação. Nesse sentido, [2] fez um estudo da resposta em frequência para medidores eletromecânicos e eletrônicos, onde verificou-se que os erros crescem significativamente com o aumento da frequência. Além disso, também foi feita uma resposta em frequência aplicando formas de onda puramente reativas em medidores eletromecânicos de energia ativa. Nesse caso, verificou-se a medição de uma energia ativa mesmo com a aplicação de tais formas de onda puramente reativas.

Com a finalidade de se realizar um estudo mais completo, o trabalho realizado por [3] consistiu em uma análise experimental para medidores eletromecânicos e eletrônicos com a aplicação de uma quantidade maior de testes, sendo que as condições de ensaio foram distribuídas em três seções: condições senoidais padrão (60 Hz), grandezas de influências normatizadas e condições não senoidais. Foi visto que, a depender da configuração, medidores podem apresentar erros positivos ou negativos, podendo prejudicar assim consumidores ou concessionárias de energia.

Já o trabalho publicado por [4] apresentou uma análise experimental para medidores eletromecânicos para diversas configurações de carga utilizando resistores, indutores, capacitores e retificadores e também com a aplicação de tensões distorcidas e/ou desequilibradas (para os medidores trifásicos). Em alguns casos foram verificados erros acima de 10%.

Com o objetivo de se avaliar o comportamento de tais equipamentos em condições mais próximas da realidade, o autor [5] fez a análise do erro para medidores eletromecânicos e eletrônicos utilizando cargas reais utilizadas no dia a dia, como por exemplo computadores, lâmpadas, ventiladores, enceradeira, DVD e TV, etc. Novamente ficou comprovado que os erros podem ficar fora da faixa de exatidão a depender das cargas utilizadas.

Até então os trabalhos mostraram que os medidores operam de maneira inadequada em ambientes distorcidos, porém, em 2016, o trabalho publicado por [6] chamou atenção da comunidade científica. Nesse estudo em específico, os autores mostraram que, em algumas instalações contendo determinadas tecnologias de lâmpadas, os desvios de medição entre

diferentes medidores monitorando a mesma forma de onda de tensão e corrente pode ser maior do que 500%.

Finalmente, um outro tema que também é relacionado aos medidores de energia e que também impacta diretamente as distribuidoras é a perda interna do medidor. Esses valores são reconhecidos via tarifa de energia elétrica e, caso estejam sendo contabilizados de maneira incorreta, as distribuidoras de energia podem estar auferindo grandes lucros ou prejuízos. Sobre esse assunto, a referência [7] fez um estudo do benefício nas perdas elétricas com a substituição de medidores eletromecânicos por eletrônicos em um distrito.

Nota-se que não existe até então nenhum trabalho que tenha feito a avaliação mais profunda das perdas internas em medidores. Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo uma avaliação crítica da perda interna por canal de tensão utilizando uma grande quantidade de medidores, sendo estes do tipo eletrônico e eletromecânico, assim como a avaliação de outras grandezas elétricas, também por canal de tensão, como por exemplo a potência reativa e aparente e a distorção harmônica total de corrente. Finalmente, em relação aos desvios de medição, verifica-se que os estudos já realizados utilizam uma quantidade pequena de medidores. Mais uma vez objetiva-se dar continuidade a tais estudos, porém utilizando uma quantidade de medidores que represente a quase totalidade do parque de medição brasileiro, dando assim uma maior robustez ao trabalho. Além disso, serão realizados uma maior quantidade de testes (32 no total), de modo a englobar grande parte dos testes já realizados até então, incluindo um espectro tipicamente residencial e também utilizando formas de onda semelhantes àquelas utilizadas por [6], onde foram encontrados erros da ordem de 500%.

Para esse propósito, o presente trabalho foi dividido, além do capítulo introdutório, com as seguintes seções:

- **CAPÍTULO 2** – Neste capítulo será feita uma abordagem teórica do princípio de funcionamento de medidores eletrônicos e eletromecânicos e os possíveis impactos dos desvios de medição e das perdas internas nas perdas de energia elétrica. Além disso, também será feito um desenvolvimento analítico sobre o conceito de potência elétrica ativa sob o aspecto da norma IEEE Std. 1459-2010.
- **CAPÍTULO 3** – Apresentará o resultado de testes de perdas internas em medidores para uma quantidade representativa do parque de medição brasileiro. Além da perda de energia ativa, também serão analisadas outras grandezas elétricas, como a potência reativa, potência aparente e distorções harmônicas. Ainda, no final do capítulo, será feita uma nova proposta para

valores de perdas internas a fim de reconhecimento tarifário, assim como uma análise financeira para um grupo de distribuidoras de energia elétrica.

- **CAPÍTULO 4** – Neste capítulo serão apresentados os resultados dos testes de desvios de medição de energia elétrica. Para tanto foram realizados, para cada medidor, um total de 32 testes com diversas formas de onda, inclusive a utilizada pelo estudo realizado por [6], onde foram encontrados erros da ordem de 500%.
- **CAPÍTULO 5** – Este capítulo será o fechamento do trabalho que apresentará uma síntese de todos os resultados apresentados com todas as ressalvas cabíveis, além de algumas propostas para a continuidade do trabalho.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A medição de energia elétrica é empregada atualmente para todos os consumidores. Ela é responsável por quantificar a quantidade de potência e/ou energia consumida durante certo período de tempo e, sendo assim, permite que a concessionária faça a cobrança de uma fatura de energia elétrica, sendo que essa tem por finalidade a correta remuneração de todos os custos de transporte e geração de energia, assim como encargos setoriais e tributos. Sendo assim, é de interesse econômico, tanto da concessionária quanto dos consumidores, que esses instrumentos meçam da forma mais exata possível, permitindo assim a remuneração adequada pelo serviço prestado.

### 2.1 O medidor de energia elétrica

O medidor de energia elétrica nada mais é do que o equipamento necessário para quantificar o consumo de energia elétrica. Para tanto, a depender do tipo de cliente, tais equipamentos precisam quantificar a energia consumida (kWh) e/ou potência (kW) e/ou a energia reativa (kvarh).

Quanto à tecnologia, são classificados em medidores eletromecânicos e eletrônicos. Atualmente, cerca da metade do parque de medição brasileiro ainda é composto por medidores eletromecânicos, porém a tendência é que esse tipo de medidor seja substituído cada vez mais por medidores eletrônicos por este ter um melhor custo-benefício.

Outra importante classificação que vem informada em cada medidor é em relação ao número de elementos. Esse nada mais é do que a quantidade de transdutores de potência que possui o medidor, sendo que a cada transdutor de potência está associada uma bobina de corrente e uma de tensão, resultando em valores W, var ou VA, a depender do medidor.

Quanto ao tipo de ligação, podem ser classificados como medidores diretos e indiretos. Medidores diretos são aqueles que podem ser conectados diretamente à rede e à carga, não necessitando fazer uso de transformadores de corrente e/ou potencial para tal, sendo muito utilizados em residências e comércios. Por outro lado, medidores indiretos são aqueles que precisam fazer uso de transformadores de corrente e/ou potencial, sendo utilizados principalmente em clientes conectados a níveis de tensão mais elevados, como por exemplo as indústrias.

Finalmente, a última e não menos importante classificação é quanto ao índice de classe. Esse índice define os limites admissíveis de erro percentual para todos os valores de

corrente entre 10% da corrente nominal e a corrente máxima, para o fator de potência ativo ou reativo, unitário com as cargas equilibradas, quando o medidor é ensaiado sob condições de referência [8]. Nesse aspecto, os medidores podem ser de classe D (0,2 %), C (0,5 %), B (1,0 %) ou A (2,0 %), sendo que são esses índices que serão utilizados para a realização deste trabalho, conforme ainda será visto no decorrer dos próximos capítulos.

### 2.1.1 O medidor eletromecânico

O medidor eletromecânico, apesar de ser uma tecnologia antiga, ainda é bastante utilizado hoje em dia. Este é composto basicamente pelos seguintes elementos: bobina de tensão ou de potencial ( $Bp$ ), bobina de corrente ( $Bc$ ), núcleo de material ferromagnético, conjunto móvel ou rotor (disco de alumínio, engrenagens e contador eletromecânico), ímã permanente e um eixo de rotação  $M$ . Esse esquema simplificado é mostrado na Figura 1.

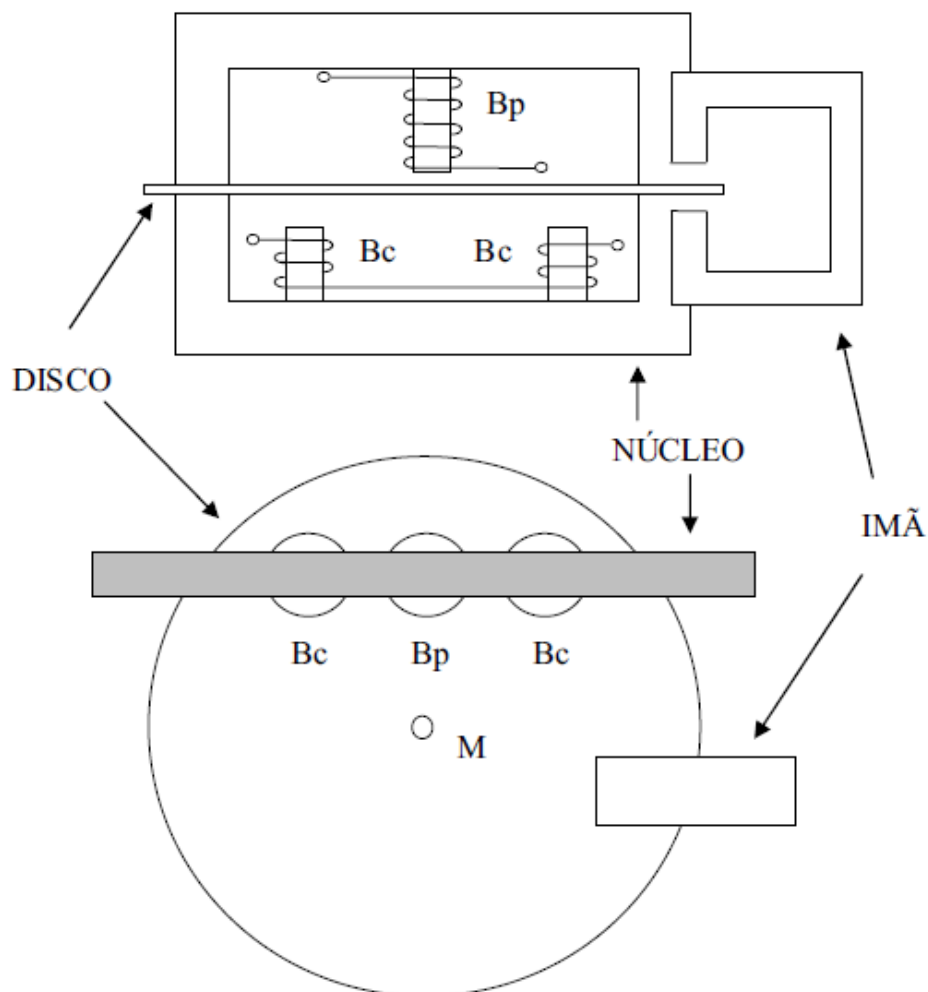


Figura 1 - O medidor eletromecânico [5].



A bobina de tensão ( $Bp$ ) é feita com fio bem fino e é ligada em paralelo, enquanto a bobina de corrente ( $Bc$ ) é feita por espiras com fio grosso e ligada em série com a carga, sendo que essa também é dividida em duas meias bobinas ligadas em sentidos contrários.

O núcleo geralmente é feito com lâminas de material ferromagnético, sendo que o ferrosilício é geralmente o material mais utilizado. A fim de se reduzir as perdas por correntes de Foucault, as lâminas são isoladas umas das outras.

Por sua vez, o conjunto móvel (rotor) é constituído por um disco, sendo geralmente de alumínio, de alta condutibilidade e com liberdade para girar em torno do eixo  $M$ , sendo que esse possui um parafuso que aciona um sistema mecânico de engrenagens a fim de se contabilizar a energia elétrica em um mostrador.

Finalmente, o ímã permanente é utilizado no intuito de se criar um conjugado frenador para que não haja variações muito bruscas de torque no medidor. Sendo assim, esse possui um efeito de amortecimento sobre o mesmo.

### 2.1.1.1 Princípio de funcionamento

O funcionamento de um medidor eletromecânico é baseado no princípio da indução eletromagnética. Nesse sentido, [9] apresenta um desenvolvimento analítico muito bem elaborado sobre o assunto e que também será apresentado aqui nessa seção. É importante lembrar que um condutor percorrido por uma corrente elétrica, submetido à força de um campo magnético fica sujeito a uma força, sendo que o módulo desta é dado pela equação (1) e o sentido pela regra da mão direita.

$$F = BiL \operatorname{sen}\alpha \quad (1)$$

Onde:

$L$  é o comprimento do condutor;

$B$  é o campo magnético; e

$\alpha$  é o ângulo entre  $\vec{B}$  e a direção de  $\vec{l}$  no espaço;

A Figura 2 mostra o sentido dos fluxos induzidos no disco para uma melhor compreensão desse fenômeno.

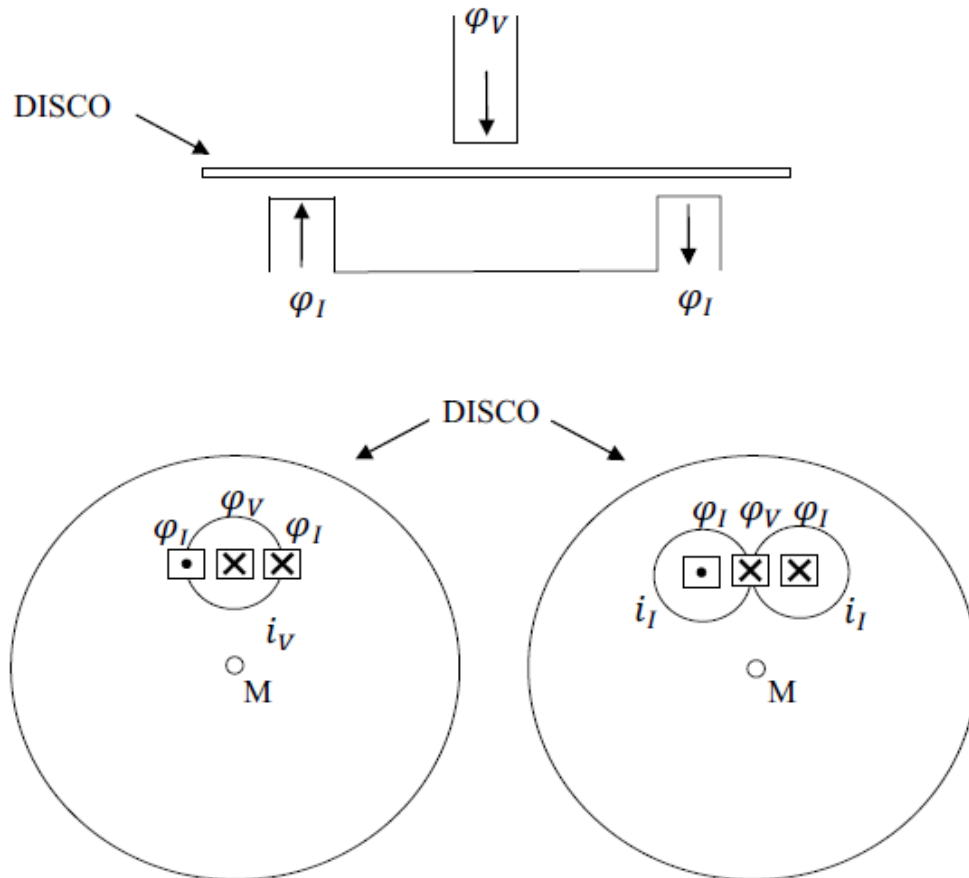


Figura 2 - Esquema dos fluxos no disco [5].

Primeiramente, uma tensão é aplicada à bobina de potencial que, conseqüentemente, faz também uma pequena corrente circular por essa, originando imediatamente um fluxo  $\varphi_V$  que, ao atravessar o disco de alumínio, nele induz correntes de Foucault  $i_V$ . A interação entre a corrente induzida  $i_V$  e o fluxo  $\varphi_I$  originado pela bobina de corrente promove uma força e, conseqüentemente, um conjugado, fazendo o disco girar.

Simultaneamente, a corrente de carga, ao passar pela bobina de corrente, também origina um fluxo  $\varphi_I$  que, ao atravessar o disco, nele induz uma corrente de Foucault  $i_I$ . De maneira análoga, a interação entre a corrente  $i_I$  e o fluxo  $\varphi_V$  origina outra força e, conseqüentemente, outro conjugado, também fazendo o disco girar.

A questão agora é entender o sentido de cada um dos dois conjugados, uma vez que, caso um dos conjugados tenha sentido contrário ao outro, o disco pode girar de maneira inapropriada. A seguir será mostrado que o sentido dos dois conjugados é o mesmo.

Para um melhor entendimento do problema, é utilizada uma carga com fator de potência unitário. As formas de onda de tensão e corrente, assim como dos fluxos são mostradas na Figura 3.

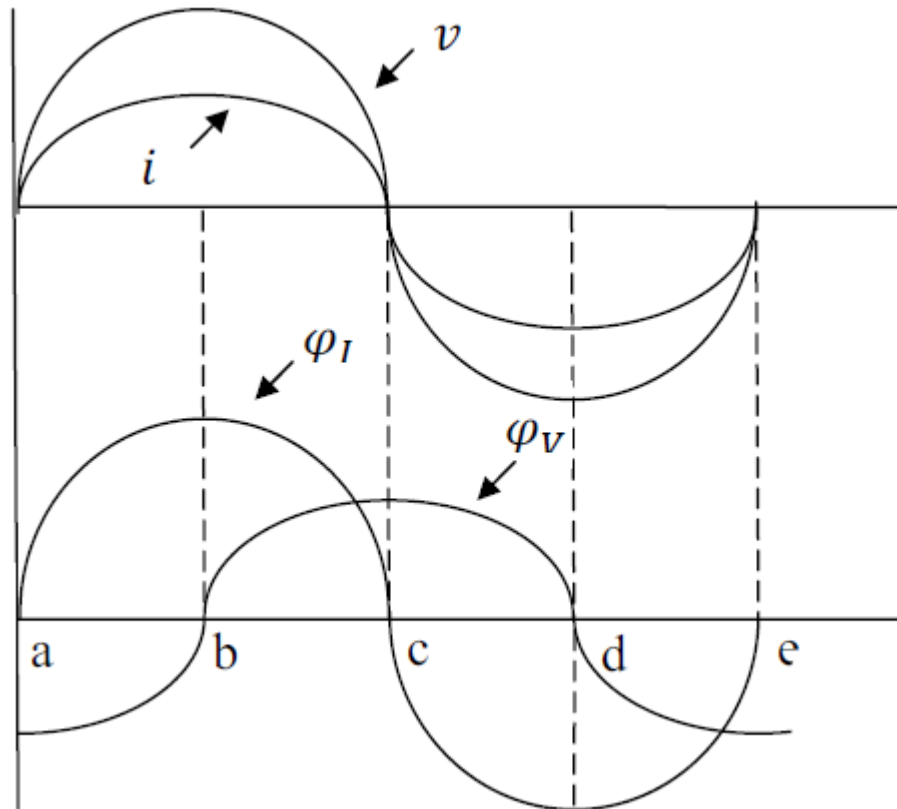


Figura 3 - Formas de onda de tensão e corrente [5].

Para continuar a análise, faz-se importante observar que as formas de onda do fluxo sempre estarão em fase com as correntes que os originam. De fato, observa-se que o fluxo  $\varphi_I$  está em fase com a corrente  $i$ . Já o fluxo  $\varphi_V$  deve estar em fase com a corrente  $i'$  que passa pela bobina de potencial, sendo que esta, conforme já foi visto, possui um grande número de espiras com fio fino, fato esse que a torna altamente indutiva. Sendo assim, a corrente  $i'$  fica defasada de  $90^\circ$  em relação à tensão e, conseqüentemente, o fluxo  $\varphi_V$  também, conforme visto pela Figura 3.

Por sua vez, as Figuras 4, 5, 6 e 7 mostram o sentido das correntes induzidas no disco de acordo com a Lei de Lenz para diferentes instantes da forma de onda.

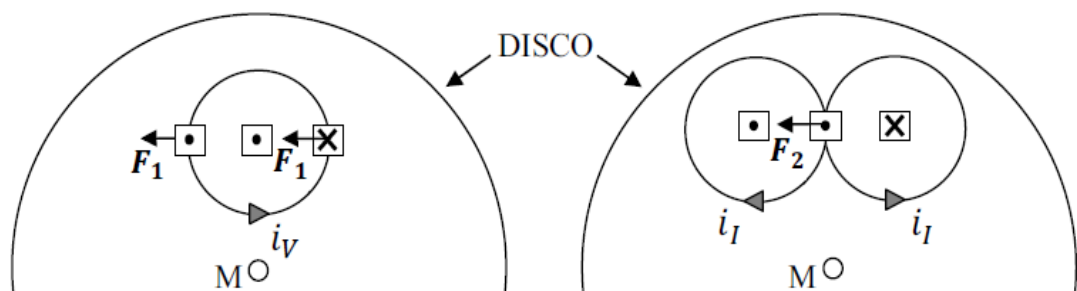


Figura 4 - Intervalo a-b:  $\varphi_V$  decresce,  $\varphi_I$  cresce [5].

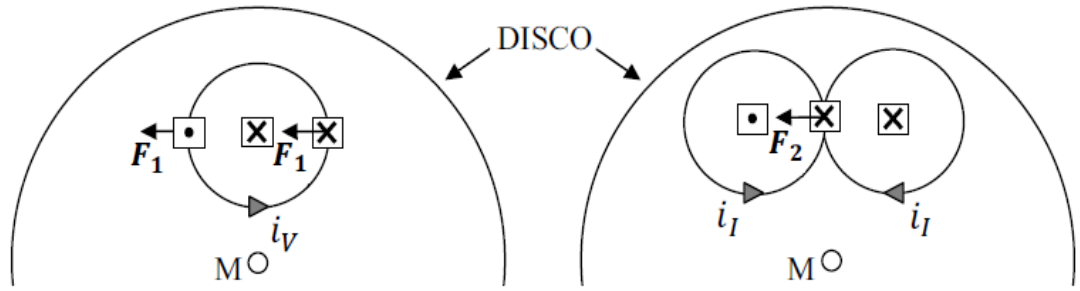


Figura 5 - Intervalo b-c:  $\varphi_V$  cresce,  $\varphi_I$  decresce [5].

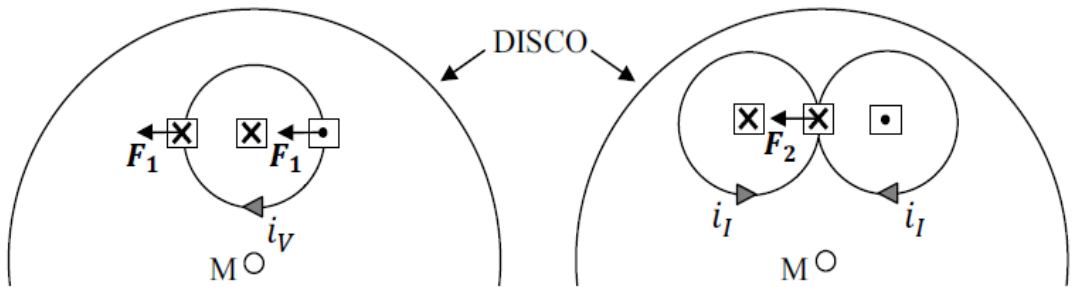


Figura 6 - Intervalo c-d:  $\varphi_V$  decresce,  $\varphi_I$  cresce [5].

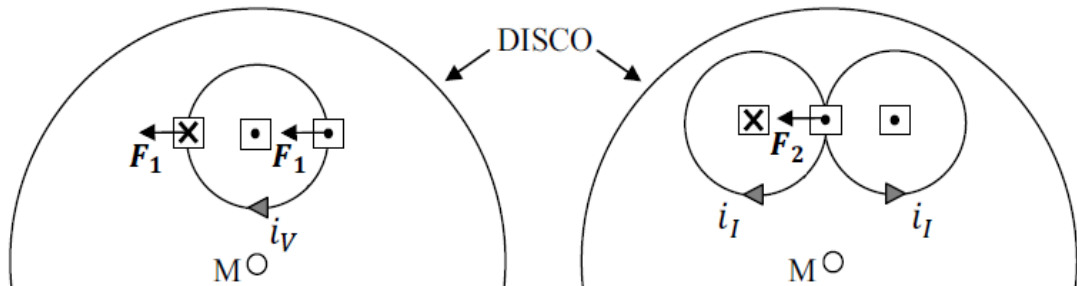


Figura 7 - Intervalo d-e:  $\varphi_V$  cresce,  $\varphi_I$  decresce [5].

Primeiramente, no intervalo a-b, a Figura 3 mostra que a amplitude do fluxo  $\varphi_V$  decresce, originando no disco uma corrente  $i_V$  cujo sentido se dá conforme a regra da mão direita de modo que o campo magnético vai assim ajudar  $\varphi_V$  para que ele não decresça, conforme mostrado pela Figura 4. No mesmo intervalo a-b, a Figura 3 mostra que o fluxo  $\varphi_I$  cresce, originando então no disco a corrente  $i_I$  de modo que o seu campo magnético vai assim se opor a  $\varphi_I$  para que ele não cresça, conforme indicado pela Figura 4. Sendo assim, o sentido das correntes induzidas no disco sempre vai em oposição à variação do fluxo, podendo a mesma análise ser feita para os demais intervalos. Nota-se também que as forças  $F_1$  e  $F_2$  estão sempre no mesmo sentido, e isso acontece para todos os intervalos da forma de onda.

Um desenvolvimento analítico feito por [9] pode ser utilizado para estimar o valor do conjugado motor. Sejam os valores de tensão e corrente, assim como dos fluxos, dados de maneira genérica conforme a seguir:

$$v = \sqrt{2} V \text{ sen } \omega t \quad (2)$$

$$i = \sqrt{2} I \text{ sen } (\omega t - \theta) \quad (3)$$

$$\varphi_V = \sqrt{2} \phi_V \text{ sen } (\omega t - \Delta) \quad (4)$$

$$\varphi_I = \sqrt{2} \phi_I \text{ sen } (\omega t - \theta) \quad (5)$$

Onde:

$V$  é o valor eficaz de tensão;

$I$  é o valor eficaz de corrente;

$\phi_V$  é o valor eficaz do fluxo  $\varphi_V$ ;

$\phi_I$  é o valor eficaz do fluxo  $\varphi_I$ ;

$\theta$  é o ângulo de defasagem entre  $v$  e  $i$ ; e

$\Delta$  é o ângulo de defasagem entre  $v$  e  $\varphi_V$ .

As forças eletromotrizes podem ser obtidas conforme equações (6) e (7).

$$e_I = - \frac{d\varphi_I}{dt} = -\sqrt{2} \phi_I \omega \text{ cos } (\omega t - \theta) \quad (6)$$

$$e_V = - \frac{d\varphi_V}{dt} = -\sqrt{2} \phi_V \omega \text{ cos } (\omega t - \Delta) \quad (7)$$

Onde:

$e_I$  é a força eletromotriz gerada no disco devido à bobina de corrente; e

$e_V$  é a força eletromotriz gerada no disco devido à bobina de tensão;

As correntes de Foucault induzidas no disco podem ser obtidas através das equações (6) e (7) e utilizando a lei de Ohm, conforme visto a seguir:

$$i_I = \frac{e_I}{R_1} = -\frac{\omega\sqrt{2}}{R_1} \phi_I \cos(\omega t - \theta) \quad (8)$$

$$i_V = \frac{e_V}{R_2} = -\frac{\omega\sqrt{2}}{R_2} \phi_V \cos(\omega t - \Delta) \quad (9)$$

Sendo que  $R_1$  e  $R_2$  são as resistências elétricas oferecidas pelo disco à circulação das correntes  $i_I$  e  $i_V$ , respectivamente, considerando o disco como puramente resistivo.

Segundo a equação (1), no caso do medidor, a força  $\vec{F}$  estando à distância  $d$  do eixo de rotação  $M$ , haverá sobre o disco um conjugado motor da forma:

$$C = F d \quad (10)$$

Sendo ainda:  $\vec{B}$  normal à direção da corrente,  $L$  constante e  $B = k'\varphi$ , pode-se escrever:

$$C = F d = k \varphi i \quad (11)$$

Porém  $\varphi$  e  $i$  estão representados por sua função instantânea, sendo que seus valores variam no tempo. Para se obter o valor médio, é necessário realizar a sua integração, conforme equação (12).

$$C = k \frac{1}{T} \int_0^T \varphi i \quad (12)$$

Conforme já foi visto, existem dois conjugados que atuam instantaneamente no medidor, sendo assim é necessário a consideração de ambos.

O primeiro conjugado  $C_1$  é devido à interação entre o fluxo  $\varphi_I$  e a corrente  $i_V$ , sendo dado por:

$$C_1 = k_1 \frac{1}{T} \int_0^T \varphi_I i_V dt \quad (13)$$

Levando em conta os valores instantâneos de  $\varphi_I$  e  $i_V$  indicados em (5) e (9), obtem-se:

$$C_1 = k_1 \frac{1}{T} \int_0^T -\frac{2\omega}{R_2} \phi_I \phi_V \cos(\omega t - \Delta) \text{sen}(\omega t - \theta) dt \quad (14)$$

Resultando em:

$$C_1 = -k'_1 \omega \phi_I \phi_V \text{sen}(\Delta - \theta) \quad (15)$$

O segundo conjugado  $C_2$  é devido à interação entre o fluxo  $\phi_V$  e a corrente  $i_I$ , sendo que este é dado por:

$$C_2 = k_2 \frac{1}{T} \int_0^T \phi_V i_I dt \quad (16)$$

Levando em conta os valores instantâneos de  $\phi_V$  e  $i_I$  indicados em (4) e (8), respectivamente, obtem-se:

$$C_2 = k_2 \frac{1}{T} \int_0^T -\frac{2\omega}{R_1} \phi_I \phi_V \cos(\omega t - \theta) \text{sen}(\omega t - \Delta) dt \quad (17)$$

Resultando em:

$$C_2 = -k'_2 \omega \phi_I \phi_V \text{sen}(\Delta - \theta) \quad (18)$$

O conjugado médio resultante será a soma dos dois valores encontrados em (15) e (18).

$$C_m = C_1 + C_2 \quad (19)$$

Nota-se que  $C_1$  e  $C_2$  possuem sinais contrários, porém, para o cálculo de  $C_m$  sempre serão considerados ambos os conjugados com valores positivos, pois, conforme já foi visto, fisicamente as forças sempre atuam no mesmo sentido, mesmo que matematicamente a indicação seja contrária.

Assim, a equação (19) resultará em:

$$C_m = k' 2\pi f \phi_I \phi_V \text{sen}(\Delta - \theta) \quad (20)$$

Observa-se que  $C_m$  depende da frequência e é proporcional ao produto dessa pelos valores eficazes respectivos dos dois fluxos e pelo seno do ângulo de defasagem entre eles. Os fluxos originados pela aplicação de tensão e pela passagem da corrente de carga são proporcionais aos valores da própria tensão e da própria corrente, podendo ser representados como:

$$\phi_I = k_1 I \quad (21)$$

$$\phi_V = k_2 V \quad (22)$$

Tem-se que, para uma frequência fixada que a expressão do conjugado motor  $C_m$  é:

$$C_m = k V I \text{sen}(\Delta - \theta) \quad (23)$$

Conforme já foi visto pela Figura 3, de maneira ideal, o fluxo  $\phi_V$  está atrasado de  $90^\circ$  em relação à tensão  $v$ , sendo assim, o valor de  $\Delta$  na equação (4) pode ser substituído por  $90^\circ$ . Desse modo, a equação (23) resulta em:

$$C_m = k V I \text{cos}(\theta) \quad (24)$$

A equação (24) mostra, como já era de se esperar, que o conjugado desenvolvido no rotor é proporcional à tensão, à corrente e ao ângulo entre tensão e corrente, que nada mais é do que a potência ativa da carga que está sendo aferida pelo medidor.

### 2.1.2 O medidor eletrônico

Observa-se que, com o passar dos anos, os medidores eletromecânicos vêm sendo substituídos gradativamente por medidores eletrônicos. Futuramente, a tendência é que o parque de medição seja composto totalmente por medidores eletrônicos. Diferente dos medidores eletromecânicos, que funcionam através do princípio da indução eletromagnética, os medidores eletrônicos funcionam através de circuitos integrados para a quantificação da energia elétrica consumida. O diagrama de blocos da Figura 8 retrata de maneira simplificada como é realizado todo o processo.



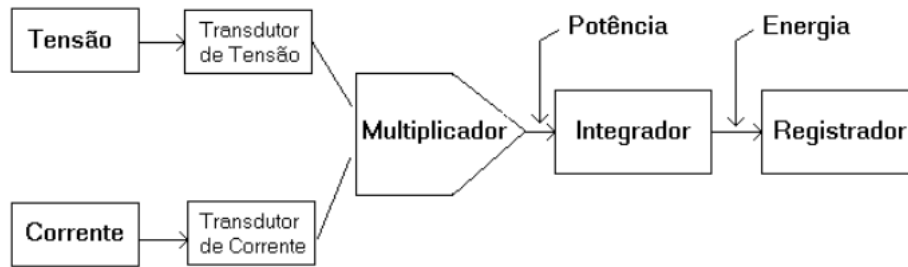


Figura 8 - Diagrama de blocos - medidor eletrônico [10].

Os sinais de entrada de tensão e corrente são captados e adequados pelos transdutores. Após todo o tratamento feito, é realizada a multiplicação para a obtenção da potência instantânea. A integração desta resulta na energia, que finalmente é registrada pelo registrador.

Atualmente, a maior parte dos medidores eletrônicos funcionam de acordo com o diagrama da Figura 8, porém existem diferentes métodos para a realização de cada uma das etapas mostradas. O próprio trabalho realizado por [10] faz uma análise de duas técnicas utilizadas para a etapa de multiplicação utilizadas em medidores eletrônicos comerciais, sendo elas: Multiplicação por divisão no tempo e multiplicação digital. Ainda, segundo o próprio autor, de acordo com a técnica utilizada em cada uma das etapas da Figura 8, a resposta em frequência do medidor pode ser afetada e, conseqüentemente, a sua exatidão.

Sendo assim, tais medidores podem resultar em diferentes respostas de acordo com a forma de onda aplicada, fato este que pode ser preocupante a depender do nível de distorção da rede elétrica.

### 2.1.3 Da constante $Kh$

A maioria dos medidores de energia elétrica atualmente são aqueles utilizados em unidades consumidoras de baixa tensão, sendo que estes são feitos para quantificar apenas energia. Tais medidores possuem uma constante chamada de  $Kh$  que é utilizada em testes de calibração. Por definição, a constante  $Kh$  é chamada de constante de verificação ou calibração, e esta, para os medidores eletrônicos, corresponde à quantidade de energia elétrica medida entre dois pulsos emitidos pelo medidor. Seu valor pode ser expresso em  $Wh/pulso$  ou  $varh/pulso$ .

Já para os medidores eletromecânicos a constante é a mesma, porém a energia associada a seu valor é para uma rotação completa do disco do medidor, sendo que seu valor é expresso em  $Wh/rotação$  ou  $varh/rotação$ .

Conforme será visto no decorrer dos próximos capítulos, essa constante possui uma importância muito grande para a estimação do erro do medidor, sendo necessária para a realização dos testes de desvios de medição.

Com o objetivo de dar continuidade ao trabalho, a próxima seção apresentará um desenvolvimento muito bem formulado sobre a potência elétrica ativa, que será utilizado para as análises de desvios de medição.

## 2.2 Desenvolvimento analítico

A publicação da norma IEEE Std. 1459-2010 [11], baseada no trabalho de Alexander E. Emanuel, apresenta uma análise bem formulada a respeito do conceito de potência elétrica, a qual permitiu a elaboração de diversos estudos a respeito dessa grandeza. A partir das formas de onda de tensão e corrente instantâneas, indicadas em (25) e (26), é possível obter a potência total instantânea, indicada em (27).

$$v(t) = V_1 \text{sen}(\omega_1 t + \phi_{v1}) + \sum_{h=2}^{\infty} V_h \text{sen}(h\omega_1 t + \phi_{vh}) \quad (25)$$

$$i(t) = I_1 \text{sen}(\omega_1 t + \phi_{i1}) + \sum_{h=2}^{\infty} I_h \text{sen}(h\omega_1 t + \phi_{ih}) \quad (26)$$

$$p(t) = v(t) \times i(t) \quad (27)$$

Onde:

$V_1$  e  $I_1$  são as magnitudes da tensão e corrente fundamental, respectivamente;

$\phi_{v1}$  e  $\phi_{i1}$  são os ângulos de fase da tensão e corrente fundamental, respectivamente;

$V_h$  e  $I_h$  são as magnitudes das tensões e correntes de ordem  $h$ , respectivamente;

$\phi_{vh}$  e  $\phi_{ih}$  são os ângulos de fase da tensão e corrente de ordem  $h$ , respectivamente; e

$\omega_1$  é a frequência fundamental do sistema.

A substituição de (25) e (26) em (27) resulta em:

$$\begin{aligned}
p(t) &= V_1 \text{sen}(\omega_1 t + \phi_{v1}) \times I_1 \text{sen}(\omega_1 t + \phi_{i1}) \\
&+ V_1 \text{sen}(\omega_1 t + \phi_{v1}) \times \sum_{h=2}^{\infty} I_h \text{sen}(h\omega_1 t + \phi_{ih}) \\
&+ \sum_{h=2}^{\infty} V_h \text{sen}(h\omega_1 t + \phi_{vh}) \times I_1 \text{sen}(\omega_1 t + \phi_{i1}) \\
&+ \sum_{h=2}^{\infty} V_h \text{sen}(h\omega_1 t + \phi_{vh}) \times \sum_{h=2}^{\infty} I_h \text{sen}(h\omega_1 t + \phi_{ih})
\end{aligned} \tag{28}$$

De acordo com a equação (28), a potência total instantânea pode ser estratificada em quatro componentes elementares, definidas conforme a seguir:

$$p_1(t) = V_1 \text{sen}(\omega_1 t + \phi_{v1}) \times I_1 \text{sen}(\omega_1 t + \phi_{i1}) \tag{29}$$

$$p_{v_1 i_h}(t) = V_1 \text{sen}(\omega_1 t + \phi_{v1}) \times \sum_{h=2}^{\infty} I_h \text{sen}(h\omega_1 t + \phi_{ih}) \tag{30}$$

$$p_{v_h i_1}(t) = \sum_{h=2}^{\infty} V_h \text{sen}(h\omega_1 t + \phi_{vh}) \times I_1 \text{sen}(\omega_1 t + \phi_{i1}) \tag{31}$$

$$p_{v_h i_h}(t) = \sum_{h=2}^{\infty} V_h \text{sen}(h\omega_1 t + \phi_{vh}) \times \sum_{h=2}^{\infty} I_h \text{sen}(h\omega_1 t + \phi_{ih}) \tag{32}$$

Assim, resultando em,

$$p(t) = p_1(t) + p_{v_1 i_h}(t) + p_{v_h i_1}(t) + p_h(t) \tag{33}$$

Onde:

$p_1(t)$  é a componente relacionada com a frequência fundamental, ou seja, é a potência instantânea resultante da multiplicação da tensão instantânea fundamental pela corrente instantânea fundamental;

$p_{v_1 i_h}(t)$  é a componente resultante da multiplicação da tensão instantânea fundamental pela corrente harmônica instantânea de ordem  $h$ ;

$p_{v_h i_1}(t)$  é a componente resultante da multiplicação da tensão harmônica instantânea de ordem  $h$  pela corrente instantânea fundamental; e

$p_h(t)$  é a componente relacionada com as frequências harmônicas, ou seja, resultante da multiplicação da tensão harmônica instantânea pela corrente harmônica instantânea.

Com o propósito de facilitar a compreensão das quatro componentes que constituem a potência total instantânea, a Figura 9 apresenta um exemplo numérico considerando:

$$V_1 = 120 \text{ V}, \phi_{v1} = 0^\circ, V_3 = 12 \text{ V}, \phi_{v3} = 10^\circ, V_5 = 24 \text{ V}, \phi_{v5} = 45^\circ$$

$$I_1 = 10 \text{ A}, \phi_{i1} = -32^\circ, I_3 = 1 \text{ A}, \phi_{i3} = 145^\circ, I_5 = 2 \text{ A}, \phi_{i5} = 170^\circ$$

Sendo que as amplitudes das tensões e correntes se encontram indicadas em termos de seus valores eficazes.

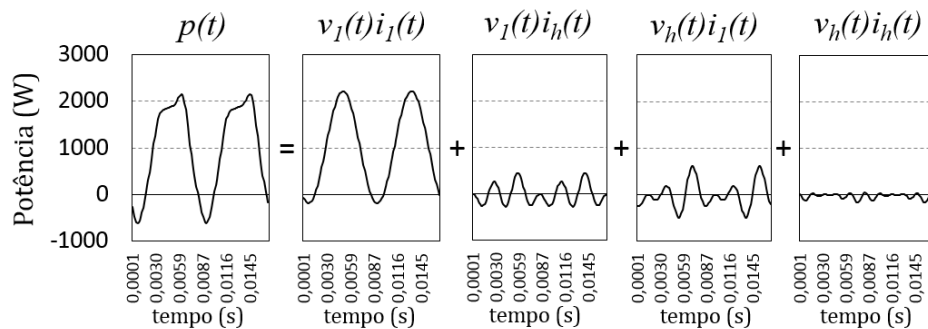


Figura 9 - Representação no domínio do tempo da potência instantânea total decomposta.

A Figura 9 mostra a representação gráfica das componentes mostradas pela equação (33) no domínio do tempo. Da mesma forma, a representação gráfica das componentes constituintes da potência harmônica instantânea é apresentada na Figura 10.

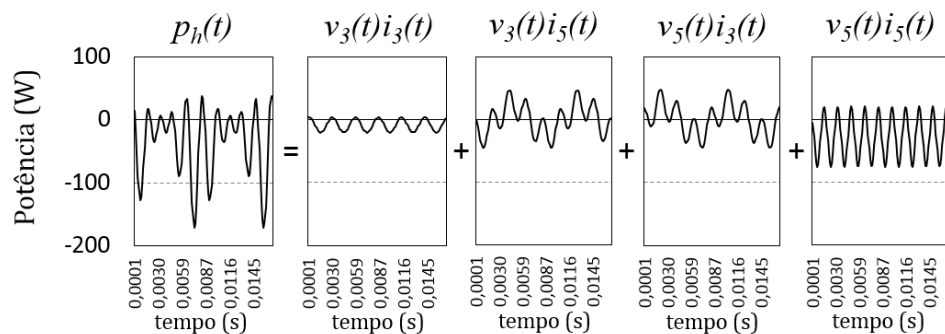


Figura 10 - Representação no domínio do tempo da componente de potência harmônica instantânea decomposta.

Considerando-se o mesmo exemplo numérico, é possível ainda segregar as componentes de potência instantânea  $p_{v_1 i_h}(t)$  e  $p_{v_h i_1}(t)$  conforme mostrado nas Figuras 11 e 12, respectivamente.

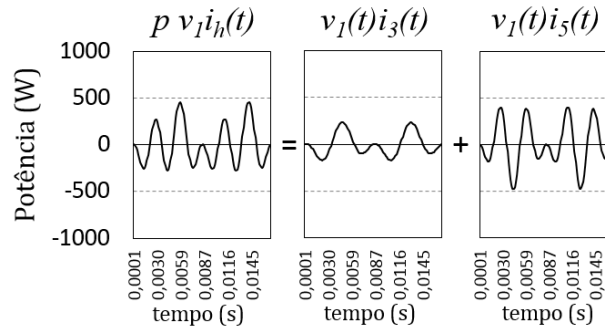


Figura 11 - Representação no domínio do tempo da componente  $p_{v_1 i_h}(t)$  decomposta.

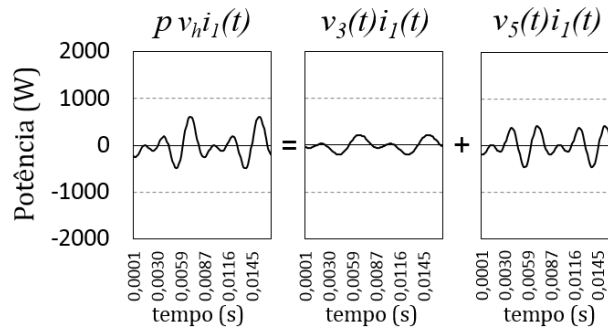


Figura 12 – Representação no domínio do tempo da componente  $p_{v_h i_1}(t)$  decomposta.

Analicamente, a potência ativa associada com o conjunto das componentes das potências instantâneas, conforme indicado em (33), pode ser obtida através da equação (34).

$$P = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{T} \int_0^T v_m(t) i_n(t) dt \quad (34)$$

Analisando a equação (34), é importante observar que a multiplicação cruzada entre tensões e correntes com ordens harmônicas distintas resulta em:

$$\frac{1}{T} \int_0^T v_m(t) i_n(t) dt \begin{cases} = 0 \text{ para } m \neq n \\ \neq 0 \text{ para } m = n \end{cases} \quad (35)$$

A demonstração analítica de (35) está relacionada ao fato de que o valor da integral do produto de duas funções seno de frequências harmônicas distintas é sempre igual a zero para

um período completo da frequência fundamental. Dessa forma, a equação (34) pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} \frac{1}{T} \int_0^T v_h(t) i_h(t) dt \quad (36)$$

De acordo com (35), é possível ver claramente pela Figura 9 que a componente  $p_1(t)$  possui um valor médio diferente de zero. O mesmo pode ser observado para a componente  $p_h(t)$  mostrada na Figura 10 nas componentes cujo produto de tensões e correntes são de mesma ordem.

Da análise da Figura 10, cabe destacar também que, diferentemente de  $p_1(t)$ , a componente  $p_h(t)$  apresenta um valor médio negativo, indicando que a potência associada possui um fluxo no sentido da carga para a fonte. Isso se deve ao fato de que o exemplo numérico apresentado representa uma carga não-linear, de tal forma que parte da potência total entregue à carga é devolvida ao sistema na forma de potência harmônica.

Em síntese, como consequência direta de (35) e (36), o valor médio de  $p_1(t)$  representa a magnitude da potência ativa fundamental ( $P_1$ ), expressa em watts ( $W$ ). Os valores médios de  $p_{v_1 i_h}(t)$  e  $p_{v_h i_1}(t)$  são ambos iguais a zero e o valor médio de  $p_h(t)$  representa a potência ativa harmônica ( $P_h$ ), também expressa em watts ( $W$ ). A Tabela 1 mostra os resultados teóricos obtidos para o exemplo numérico apresentado.

Tabela 1 - Resultados teóricos obtidos para o exemplo numérico

Componente da potência instantânea	Valor médio
$v_1(t) \times i_1(t)$	1.017,66 W
$v_1(t) \times i_3(t)$	0,0
$v_1(t) \times i_5(t)$	0,0
$v_3(t) \times i_1(t)$	0,0
$v_3(t) \times i_3(t)$	-8,49 W
$v_3(t) \times i_5(t)$	0,0
$v_5(t) \times i_1(t)$	0,0
$v_5(t) \times i_3(t)$	0,0
$v_5(t) \times i_5(t)$	-27,53 W
$P = \sum_{m=1}^5 \sum_{n=1}^5 \frac{1}{T} \int_0^T v_m(t) i_n(t) dt$	981,64 W

Para fim de validação, os resultados teóricos mostrados na Tabela 1 foram comparados com resultados práticos obtidos em laboratório. Para isso, foram utilizados os mesmos sinais de tensão e corrente do exemplo numérico gerados através da fonte de potência programável CMC 256 Plus, fabricada pela Omicron Electronics Corp. Para a medição de cada uma das componentes harmônicas no teste laboratorial, foi utilizado um padrão de comparação constituído de um wattímetro de precisão IT9121, fabricado pela ITECH Electronic Corp, sendo que este é capaz de mensurar a potência total e também as potências harmônicas. Ambos os equipamentos utilizados, fonte programável e wattímetro de precisão, foram previamente calibrados e certificados pelo LABELO, constituído por um complexo de Laboratórios Especializados em Eletroeletrônica da PUC-RS.

A Figura 13 mostra o arranjo experimental considerado nos testes com o propósito de confrontação dos resultados teóricos obtidos para o exemplo numérico considerado. A Tabela 2, por sua vez, apresenta os resultados obtidos, comparando-se os valores teóricos e medidos.

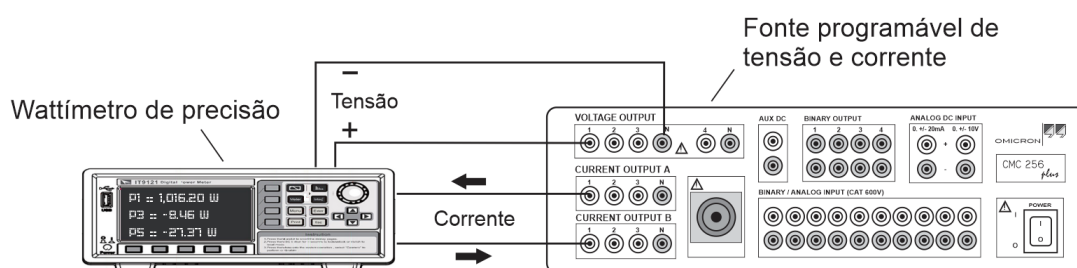


Figura 13 - Estrutura do arranjo experimental.

Tabela 2 - Resultados obtidos nos testes de laboratório.

Componente da potência instantânea	Valor teórico	Leitura do wattímetro	Desvio verificado
$P_1$	1.017,66 W	1.016,20 W	+ 0,144 %
$P_3$	-8,49 W	-8,46 W	+ 0,355 %
$P_5$	-27,53 W	-27,37 W	+ 0,585 %
<b><math>P</math></b>	<b>981,64 W</b>	<b>980,77 W</b>	<b>+ 0,130 %</b>

Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que, considerando-se os registros obtidos pelo wattímetro de precisão, quando da medição da potência ativa em diferentes frequências harmônicas, a comparação entre os valores teóricos a as leituras do wattímetro apresentam desvios muito pequenos em termos percentuais. Esses resultados validam não

somente a formulação analítica realizada, como também as medições de potência ativa (em diferentes frequências) realizadas pelo wattímetro de precisão. No entanto, no mundo real, as medições para faturamento de potência e energia ativa são realizadas por medidores com topologias simples, sendo que não se conhece como cada um desses medidores trata as parcelas de potência com frequências múltiplas da frequência fundamental, na totalização da potência e energia ativa a serem faturadas. Para responder a essa e outras questões, serão realizados, no âmbito do presente trabalho, diversos testes de calibração em dezenas de medidores disponíveis comercialmente para o faturamento de energia elétrica ativa.

De forma a complementar os conceitos de potência elétrica ativa aqui mostrados, a próxima seção apresentará uma explicação sobre os impactos que os desvios de medição e as perdas internas de medidores podem trazer nas perdas de uma distribuidora.

### **2.3 O impacto das perdas internas e dos desvios de medição nas perdas de energia**

A energia que é injetada na rede da distribuidora não é igual à energia faturada. Tal diferença é explicada pelas perdas de energia, sendo que essa energia é aquela que passa pelo sistema de transmissão e distribuição, mas não é faturada, seja por motivos técnicos ou comerciais. Desse modo, as perdas na distribuição são dadas pela diferença entre a energia injetada na rede da distribuidora e a energia fornecida, conforme equação (37).

$$PD = EI - EF \quad (37)$$

Onde:

$PD$  é a perda na distribuição total, expressa em MWh;

$EI$  é a energia injetada ativa medida proveniente de agentes supridores (transmissores, outras distribuidoras e geradores), expressa em MWh; e

$EF$  é a energia ativa entregue medida ou estimada, nos casos previstos pela legislação, a outras distribuidoras, às unidades consumidoras cativas e livres, mais o consumo próprio, expressa em MWh.

Ainda, para fins de cálculos tarifários, a perda na distribuição é dividida em duas parcelas, sendo estas representadas pela perda técnica e pela perda não técnica, conforme equação (38).



$$PD = PT + PNT \quad (38)$$

Onde:

$PT$  é a perda técnica, expressa em MWh; e

$PNT$  é a perda não técnica, expressa em MWh.

As perdas técnicas são inerentes à atividade de distribuição de energia elétrica, pois parte da energia é dissipada no processo de transporte, transformação de tensão e medição em decorrência das leis da física [12]. A regulamentação dessa é feita pelo Módulo 7 do PRODIST [13]. Para a realização do cálculo, a ANEEL utiliza um método de fluxo de carga através do *software* OpenDSS (*Open Distribution System Simulator*). O resultado final do processo resulta em valores de perdas divididos para cada segmento do sistema de distribuição, conforme mostrado a seguir:

- a) Sistema de Distribuição de Alta Tensão (SDAT);
- b) Sistema de Distribuição de Média Tensão (SDMT);
- c) Sistema de Distribuição de Baixa Tensão (SDBT);
- d) Transformadores de potência;
- e) Transformadores de distribuição;
- f) Reguladores de tensão;
- g) Ramal de ligação; e
- h) Medidores de energia.

Nota-se que o valor da perda interna ativa em medidores tem consequência direta na perda técnica total. Esse fato se torna mais relevante ainda, uma vez que as perdas técnicas são reconhecidas totalmente na tarifa de energia elétrica. Isso significa que as distribuidoras recuperam o montante perdido pela tarifa paga pelos consumidores.

Já as perdas não técnicas, ou perdas comerciais, têm origem principalmente nos furtos (ligação clandestina, desvio direto da rede), fraudes (adulterações no medidor ou desvios), erros de leitura, medição e faturamento. Essas perdas, também denominadas popularmente de “gatos”, estão em grande medida associadas à gestão da concessionária e às características socioeconômicas das áreas de concessão. O valor deste montante pode ser obtido através da equação (38), resultando na equação (39).

$$PNT = PD - PT \quad (39)$$

Sendo assim, a parcela associada aos desvios de medição impacta diretamente nas perdas não técnicas, porém, essa perda, diferentemente da perda técnica, não é repassada integralmente para a tarifa de energia elétrica, pois assim não haveria nenhum sinal de eficiência para a redução de perdas por parte das distribuidoras. O valor que é repassado para a tarifa é o valor da perda regulatória, que é menor do que as perdas reais do sistema.

Nesse sentido, o objetivo da ANEEL é estipular uma trajetória decrescente de perdas de modo que a perda reconhecida na tarifa estimule a distribuidora sempre a combater os casos de furto e fraude, fazendo assim com que a energia recuperada seja vendida novamente aos consumidores regulares pelo preço da tarifa de energia elétrica.

A Figura 14 mostra como é o benefício para o tratamento dado para as perdas pelas ANEEL com o atual modelo regulatório.

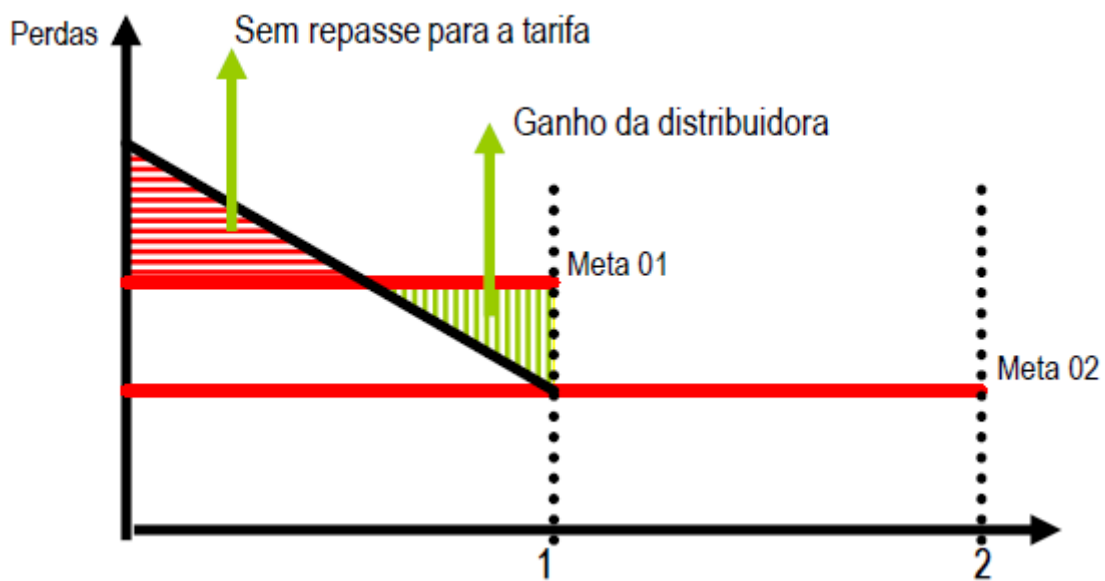


Figura 14 – Regulação das perdas por incentivos [14].

Nota-se que, quando a distribuidora possui uma perda real maior do que a regulatória, chamada de Meta 01, ocorre um prejuízo, pois esta não é reconhecida pela tarifa de energia elétrica. Por outro lado, caso a perda real seja menor do que a perda regulatória, o lucro fica com a distribuidora de energia. Tal prejuízo pode ser calculado conforme equação (40).

$$CUSTO_{PERDAS} = (P_D - P_R) \times P_{Mix} \quad (40)$$

Onde:

$P_R$  é a perda regulatória, expressa em MWh;

$P_D$  é a perda na distribuição real, expressa em MWh; e

$P_{Mix}$  é o preço médio de compra de energia na data base da revisão tarifária periódica da distribuidora, expresso em R\$/MWh.

Observa-se pela equação (40) que quando a perda na distribuição é maior do que a perda regulatória, o custo para a distribuidora é positivo, representando assim um prejuízo. Caso ocorra o contrário, ou seja, a perda na distribuição menor do que a perda regulatória, o custo é negativo, representando assim um lucro para a distribuidora.

Em síntese, foi possível ver que as perdas internas em medidores de energia podem representar grandes lucros ou prejuízos às distribuidoras caso computadas de maneira incorreta. Isso acontece porque esta parcela de perda é reconhecida totalmente via tarifa de energia elétrica.

Por outro lado, os desvios de medição são classificados como perda não técnica. Para um melhor entendimento, toma-se como exemplo uma distribuidora que possui um parque de medidores que em geral medem menos do que deveriam (apresentam erros negativos). Isso faz com que as perdas totais aumentem, conforme equação (37) e, conseqüentemente, as perdas não técnicas também, uma vez que essas são dadas pela diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas, conforme equação (39). Essa parcela, apesar de não ser reconhecida totalmente via tarifa de energia, também pode representar grandes lucros ou prejuízos caso os desvios de medição influenciem nas perdas regulatórias. Diante do exposto, fica evidente a necessidade de um estudo completo a fim de se verificar quais impactos que os medidores de energia podem estar sofrendo com a atual característica da rede elétrica.

Diante do exposto e visto o impacto que pode ser causado, o próximo capítulo apresentará todos os resultados de perdas internas de medidores e também apresentará uma nova proposta para fins de reconhecimento tarifário.

### **3 PERDAS INTERNAS DE MEDIDORES**

Atualmente, conforme já foi visto, as perdas internas dos medidores de energia fazem parte da perda técnica total da distribuidora, sendo que esta é totalmente reconhecida pela fatura de energia elétrica. Sendo assim, é necessário que esses valores sejam os mais próximos possíveis da realidade, visto que as distribuidoras podem estar sendo afetadas, tanto positivamente, quanto negativamente, caso as perdas técnicas estejam sendo contabilizadas de maneira incorreta.

#### **3.1 Estrutura laboratorial**

Para verificação das perdas internas reais dos diferentes medidores de energia elétrica, utilizou-se a estrutura laboratorial mostrada na Figura 15, composta de uma fonte programável California Instruments CSW 5500 para geração de sinais específicos de tensão e um wattímetro de precisão ITECH IT9121 de classe de exatidão de 0,1% para medição das grandezas elétricas envolvidas.

Ao todo, foram medidas as perdas internas em um total de 28 medidores do tipo eletromecânico (9 fabricantes distintos) e 36 medidores do tipo eletrônico (8 fabricantes distintos). Vale salientar que dos 36 medidores eletrônicos, 11 modelos são do tipo multitensão e possuem tensão nominal de 120 e 240 V, sendo assim, primeiro foram realizados os ensaios considerando a tensão nominal de 120 V e na sequência a tensão nominal de 240 V, sendo que os resultados serão apresentados também separadamente, como se fossem 2 medidores diferentes, resultando assim em um total de 47 medidores eletrônicos. Cumpre destacar que todos os medidores ensaiados no âmbito desse trabalho são medidores de faturamento residenciais, sendo que esses medem apenas a energia elétrica ativa. Adicionalmente, além das próprias perdas internas (objetivo principal do trabalho), foram registradas também as seguintes grandezas elétricas associadas aos canais de tensão dos medidores:

- Potência reativa.
- Potência aparente.
- Distorção harmônica total de corrente.

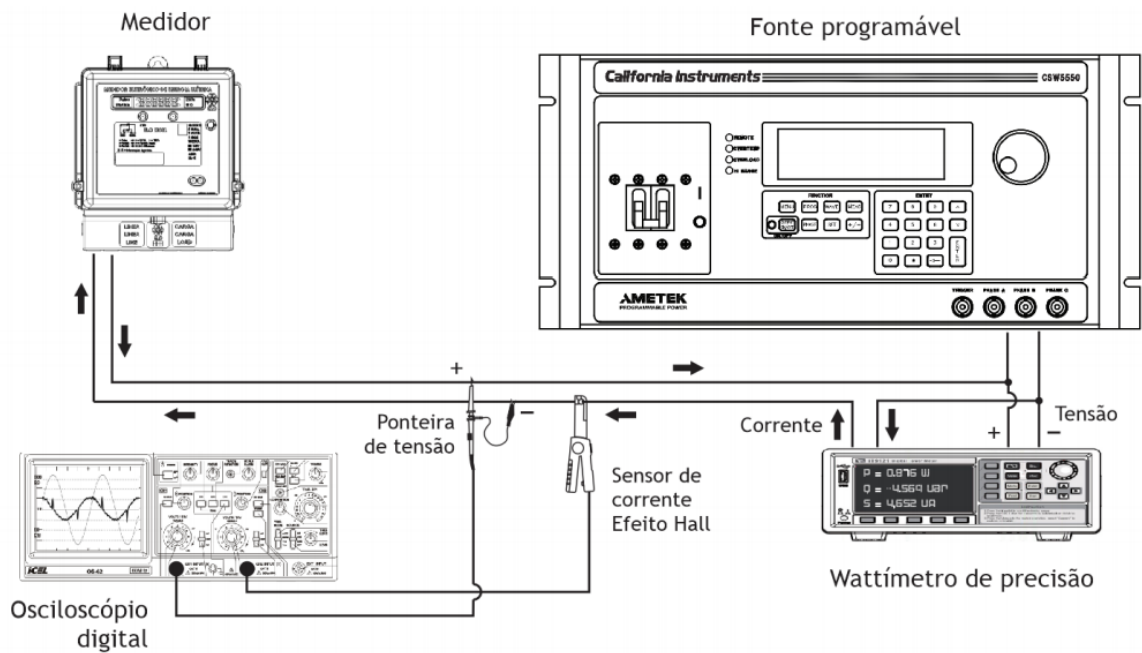


Figura 15 - Estrutura laboratorial para levantamento das perdas internas.

## 3.2 Regulamentação ANEEL e INMETRO

Para os propósitos de cálculo de perdas técnicas, a ANEEL faz uso do Módulo 7 dos Procedimentos de Distribuição [13] onde também são tratados os valores de perdas regulatórias para medidores de energia elétrica. Porém, os fabricantes de tais medidores devem obedecer a outras regulamentações que também tratam do assunto, sendo as Portarias nº 285/2008 [15] e nº 587/2012 [16], que tratam de medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente. Como os valores que são reconhecidos na tarifa de energia são aqueles encontrados nos Procedimentos de Distribuição, são esses que serão utilizados para fins de comparação neste trabalho.

### 3.2.1 Portaria INMETRO 285/2008

A Portaria INMETRO nº 285/2008 é um regulamento que estabelece as condições técnicas e metrológicas a que se sujeitam os medidores de energia elétrica ativa eletromecânicos, monofásicos e polifásicos, para as classes 1 e 2. Dentro desse contexto, são apresentadas as perdas internas máximas, ativas e aparentes, admissíveis para as bobinas de potencial dos medidores. Os valores máximos indicados são os seguintes:

- 2 W e 12 VA, para medidores classe 1.
- 1,5 W e 9 VA, para medidores classe 2.

### 3.2.2 Portaria INMETRO 587/2012

A Portaria INMETRO nº 587/2012 é um regulamento técnico que estabelece as condições mínimas a serem observadas na apreciação técnica de modelos, na verificação inicial, na verificação após reparos e na verificação por solicitação do usuário/proprietário, a que se sujeitam os medidores eletrônicos de energia elétrica ativa e/ou reativa, monofásicos e polifásicos, e índices de classe D (0,2 %), C (0,5 %), B (1,0 %), A (2,0 %). Também nesse caso são definidos os valores máximos admissíveis para as perdas internas, ativas e aparentes, das bobinas de potencial dos medidores. Nesse contexto, os valores máximos indicados são os seguintes:

- Para medidor monofásico: perdas máximas totais no circuito de potencial de 2 W e 10 VA.
- Para medidor polifásico: perda total por elemento de no máximo 2 W e 10 VA.
- Para medidor multitensão, com fonte de alimentação capacitiva: perda total por elemento de no máximo 2 W e 15 VA e esta condição só é válida quando a relação entre a maior e a menor tensão nominal for superior a 1,5.
- Para medidores multifunção polifásicos em que a fonte de alimentação esteja ligada a uma única fase, ou com tensão auxiliar: perda máxima total de 6 W e 15 V.
- Para os casos específicos citados na Tabela 3 devem ser respeitadas as perdas máximas previstas na mesma.

Tabela 3 - Perdas máximas admissíveis para medidores multigrandeza ou multifunção.

Tipo de medidor	Monofásicos	2 elementos (por elemento)	3 elementos (por elemento)
Medidor multigrandeza	3W - 15 VA	2,5W - 12,5VA	2W - 10VA
Medidor multifunção	5W - 25 VA	3,5W - 17,5VA	3W - 15VA

### 3.2.3 Módulo 7 do PRODIST

A Agência Nacional de Energia Elétrica, para efeito do cálculo das perdas técnicas na distribuição, estabelece que para os medidores de energia elétrica devem ser considerados, para efeito de contabilização de perdas técnicas, os seguintes valores de potência ativa:

- Para medidores eletromecânicos são considerados 1,0 W de perda por circuito de tensão.

- Para medidores eletrônicos são considerados 0,5 W de perda por circuito de tensão.

Dessa forma, a perda de potência para o medidor de energia das unidades consumidoras do grupo B é calculada conforme indicado pela equação (41).

$$P_M = k \times P_C \times 10^{-6} \quad (41)$$

Onde:

$P_M$  é a perda de potência no medidor, expressa em MW;

$P_C$  é perda por circuito de tensão do medidor, expressa em W; e

$k$  é o multiplicador da perda de potência do circuito de tensão do medidor cujo valor deve ser fixado em: 3 (três), para unidades consumidoras alimentadas em 3 fases e 4 fios; 2 (dois), para unidades consumidoras alimentadas em 2 fases e 3 fios e em 1 fase e 3 fios; 1 (um), para unidades consumidoras alimentadas em 1 fase e 2 fios.

A perda de energia para o medidor é obtida pela multiplicação entre a perda de potência, obtida pela equação (41), e o período de tempo analisado  $\Delta t$ , conforme indicado em (42).

$$E_M = P_M \times \Delta t \quad (42)$$

Onde:

$E_M$  é a perda de energia no medidor, expressa em MWh;

$P_M$  é perda de potência no medidor, expressa em MW; e

$\Delta t$  é o intervalo de tempo considerado, expresso em horas.

Nota-se que os valores regulamentados pelas Portarias nº 285/2008 e nº 587/2012 apresentam valores bem superiores do que os valores utilizados pela ANEEL, reforçando mais uma vez a necessidade de uma avaliação e uma possível readequação dos valores utilizados para fins tarifários.

### 3.3 Resultados obtidos

Os testes realizados em laboratório consideraram medidores eletromecânicos e eletrônicos. Assim, os resultados serão apresentados com essa mesma estratificação, facilitando

a comparação dos valores registrados com os respectivos valores regulatórios estabelecidos no Módulo 7 do PRODIST.

### 3.3.1 Análise da perda interna ativa em medidores de energia elétrica

O principal foco deste capítulo está na análise da perda interna ativa nos medidores de energia, uma vez que são estes os valores regulamentados pela ANEEL e são estes que compõem o montante de perdas técnicas das distribuidoras de energia. A Figura 16 mostra o resultado das perdas internas ativas para os medidores eletromecânicos operando com a tensão nominal da rede elétrica, ou seja, 127 V para medidores com tensão nominal de 120 V e 220 V para medidores com tensão nominal de 240 V. Para os medidores multitensão, ambos os resultados são apresentados. Para fins de comparação será utilizada a perda de 1 W, que é a utilizada pela ANEEL para fins de cálculos de perdas técnicas.

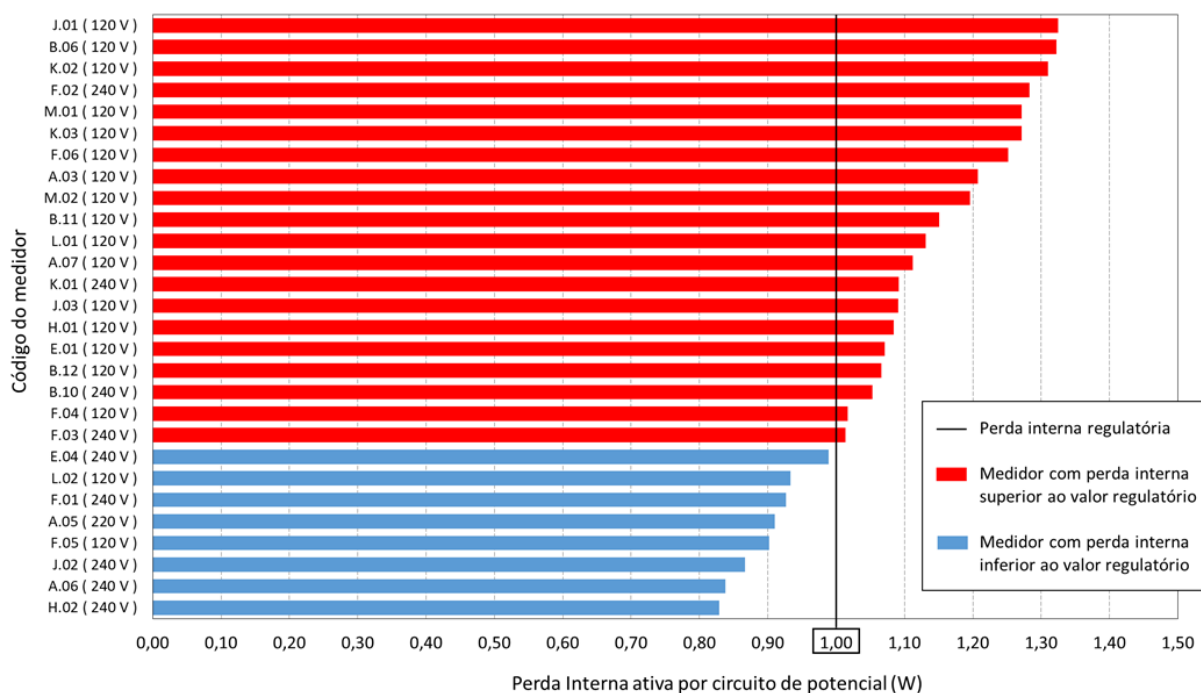


Figura 16 - Perda interna ativa medida em medidores eletromecânicos.

Nota-se pela Figura 16 que a grande maioria dos medidores apresentaram a perda interna maior do que a perda utilizada pela ANEEL. No pior caso, foi observada uma ultrapassagem superior a 30% em relação à respectiva perda interna regulatória.

A Figura 17, por sua vez, apresenta os resultados das perdas internas ativas em medidores eletrônicos também em comparação com a perda regulatória de 0,5 W.



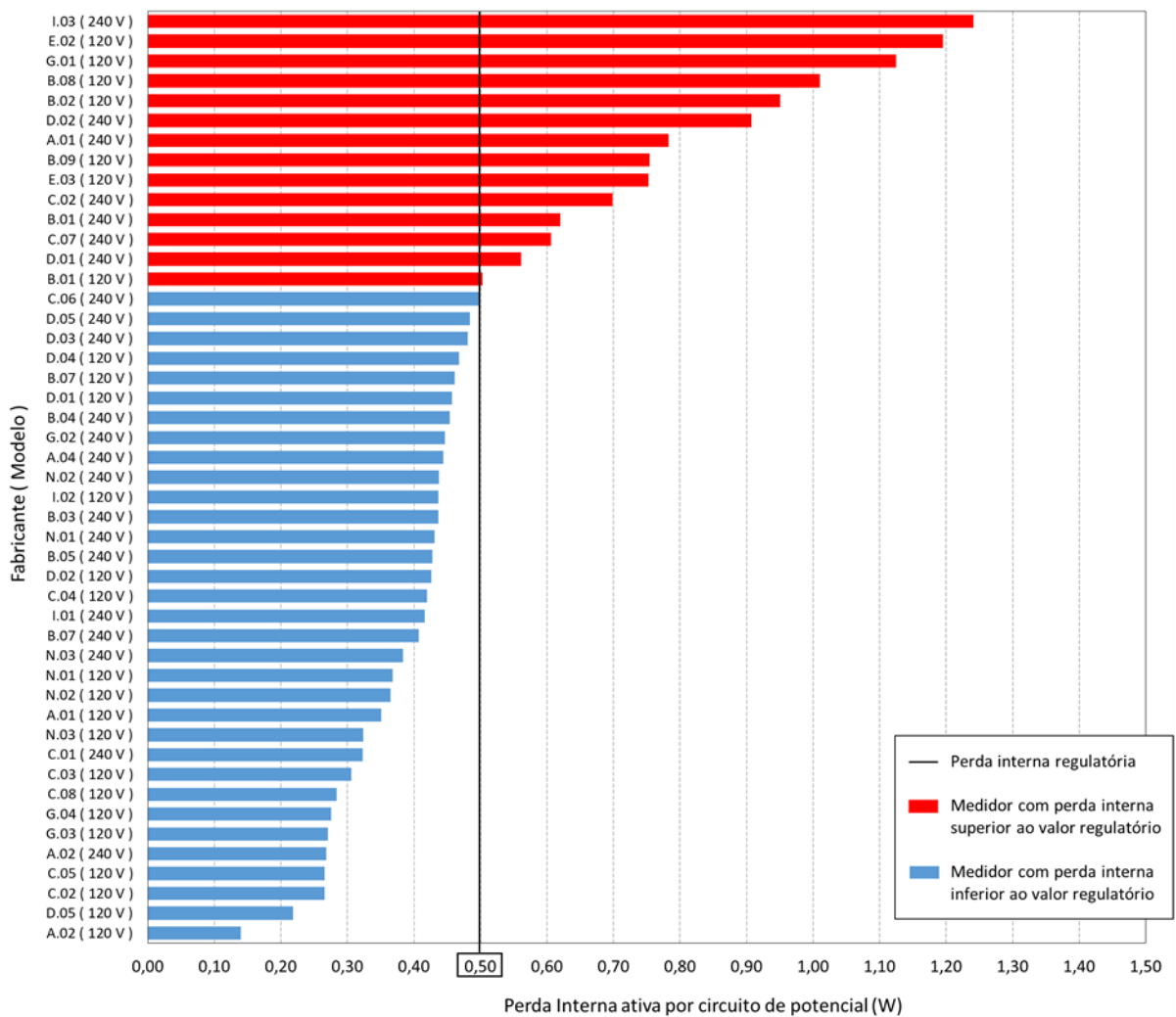


Figura 17 - Perda interna ativa medida em medidores eletrônicos.

Nota-se pela Figura 17 que uma quantidade menor de medidores eletrônicos violam o limite regulatório, porém, fazendo uma comparação com a Figura 16 observa-se que as amplitudes das violações são maiores, registrando, para o pior caso, uma ultrapassagem superior a 140% em relação à perda interna regulatória estabelecida pela ANEEL no Módulo 7 do PRODIST.

A Figura 18 apresenta um resumo dos resultados obtidos para ambas as tecnologias de medidores, eletromecânicos e eletrônicos.



Figura 18 - Resumo dos resultados de perdas internas considerando a tensão nominal da rede BT (127/220V).

Conforme mostrado na Figura 18, 71,4% dos medidores eletromecânicos analisados apresentaram perda interna maior do que a perda regulatória, enquanto que, para os medidores eletrônicos, esse percentual foi de 29,8%, porém com amplitudes bem maiores.

Com base nos resultados encontrados, torna-se importante destacar que os impactos decorrentes dos mesmos, para cada uma das distribuidoras de energia elétrica, dependerão da composição do parque de medidores, estratificados por marca e modelo, existente em cada uma dessas distribuidoras. Assim, uma distribuidora que possua uma maior quantidade de medidores com perdas internas reais superiores às perdas internas regulatórias, será mais prejudicada que uma outra distribuidora que apresente predominância de medidores com menores perdas internas reais em seu parque de medição de faturamento para consumidores de baixa tensão. Assim sendo, verifica-se uma questão importante de falta de isonomia entre diferentes distribuidoras, assim como uma questão de caráter comercial bastante relevante, uma vez que os fabricantes de medidores atendem aos critérios estabelecidos pelo INMETRO (mais flexíveis), e não aos critérios de perdas internas estabelecidos pela ANEEL para efeito de composição tarifária.

Além dos testes de perdas internas ativas considerando-se tensão nominal de operação das redes de baixa tensão, foi verificada também a variação dessas perdas dentro da faixa de tensão adequada estabelecida pelo Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição [17]. As Figuras 19 e 20 apresentam os resultados obtidos.

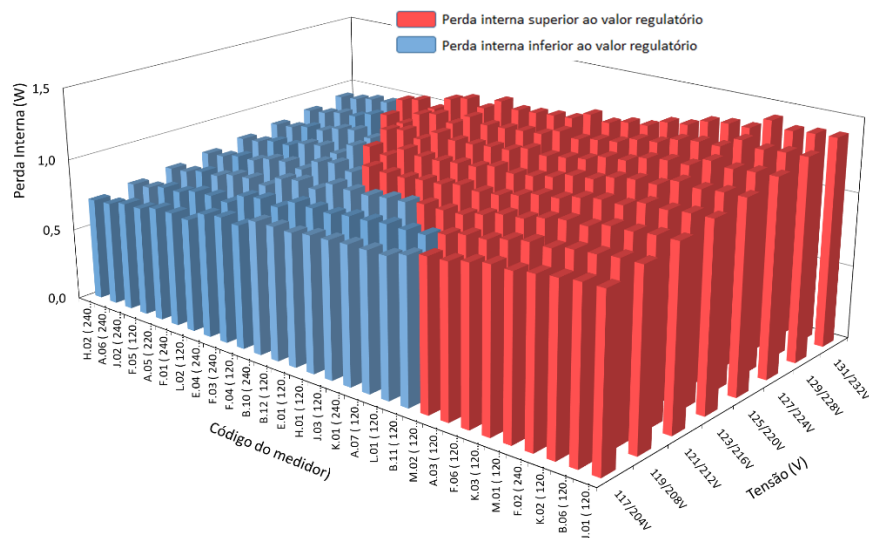


Figura 19 - Medidores eletromecânicos - perda interna ativa em função da faixa de tensão adequada estabelecida pela ANEEL.

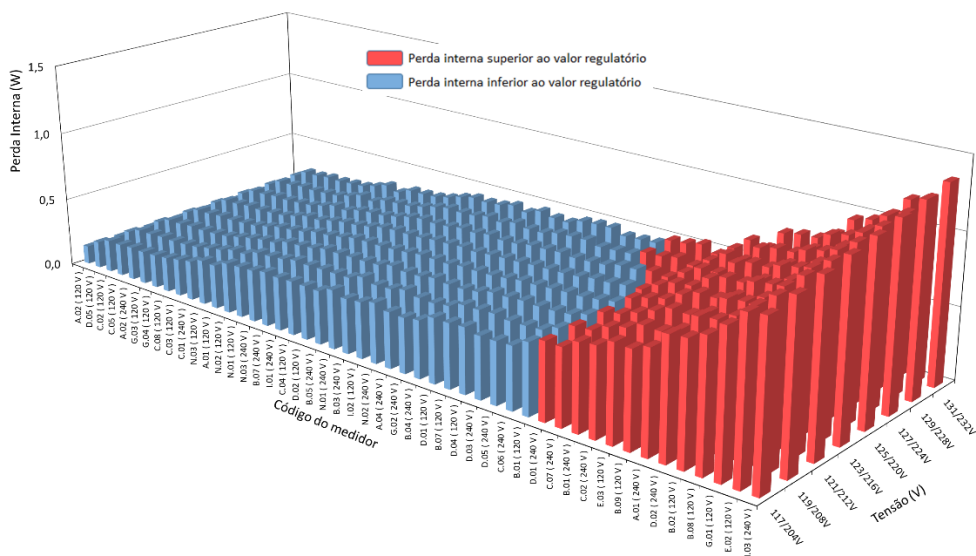


Figura 20 - Medidores eletrônicos - perda interna ativa em função da faixa de tensão adequada estabelecida pela ANEEL.

Conforme esperado, a Figura 19 mostra que, para os medidores eletromecânicos, há um aumento nos números de violações e também um aumento na amplitude dessas violações conforme ocorra um aumento no nível de tensão, mesmo essa tensão estando dentro dos limites estabelecidos pela ANEEL.

Já para o caso dos medidores eletrônicos, conforme Figura 20, o efeito do aumento do nível de tensão não afeta tanto as perdas internas. Apenas três dos medidores eletrônicos testados passaram da condição de pleno atendimento às perdas internas regulatórias para uma

condição de violação das mesmas, a partir de um determinado nível de tensão dentro dos limites admissíveis segundo o Módulo 8 do PRODIST [17].

Com o intuito de se verificar a influência da tensão de operação nas perdas internas ativas dos medidores de energia elétrica, as Figuras 21 e 22 apresentam os resultados segregados por nível de tensão.

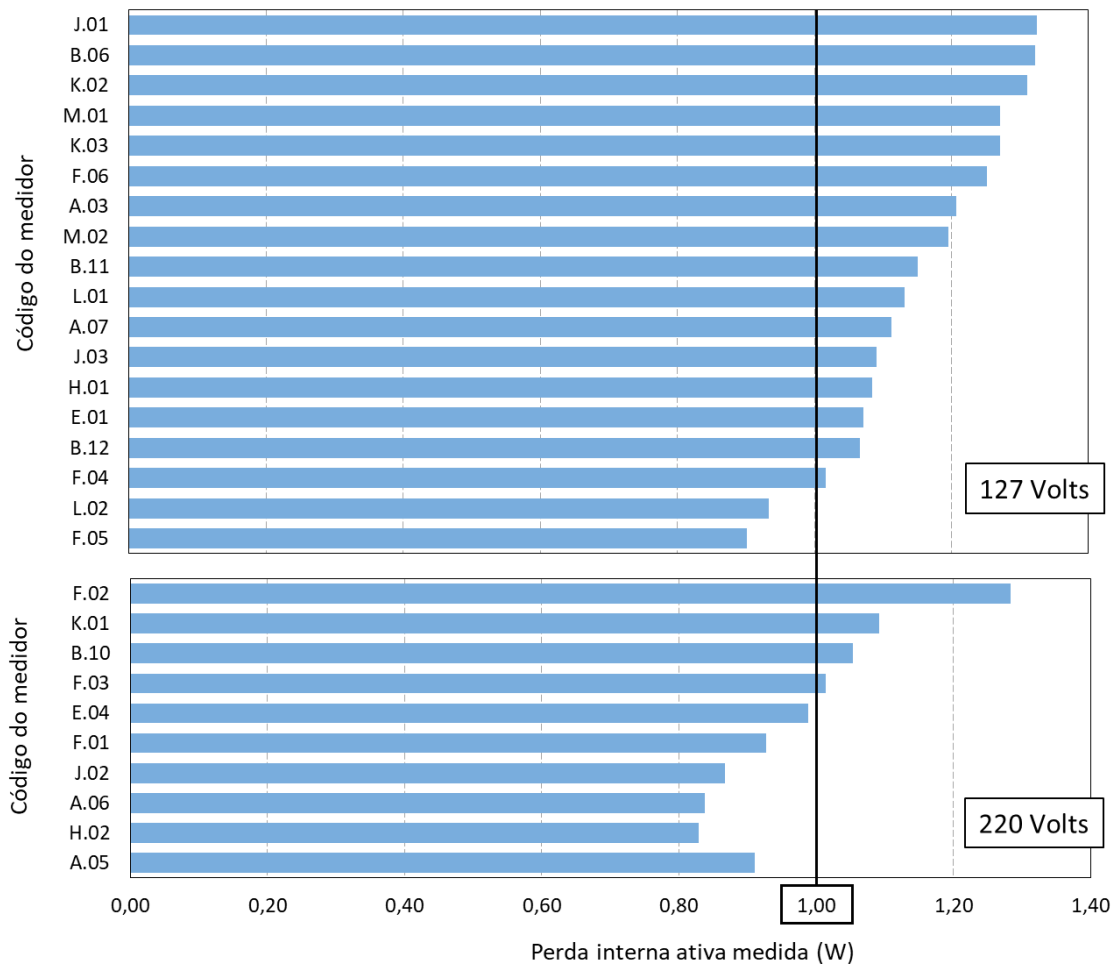


Figura 21 - Perda interna ativa em medidores eletromecânicos por nível de tensão.

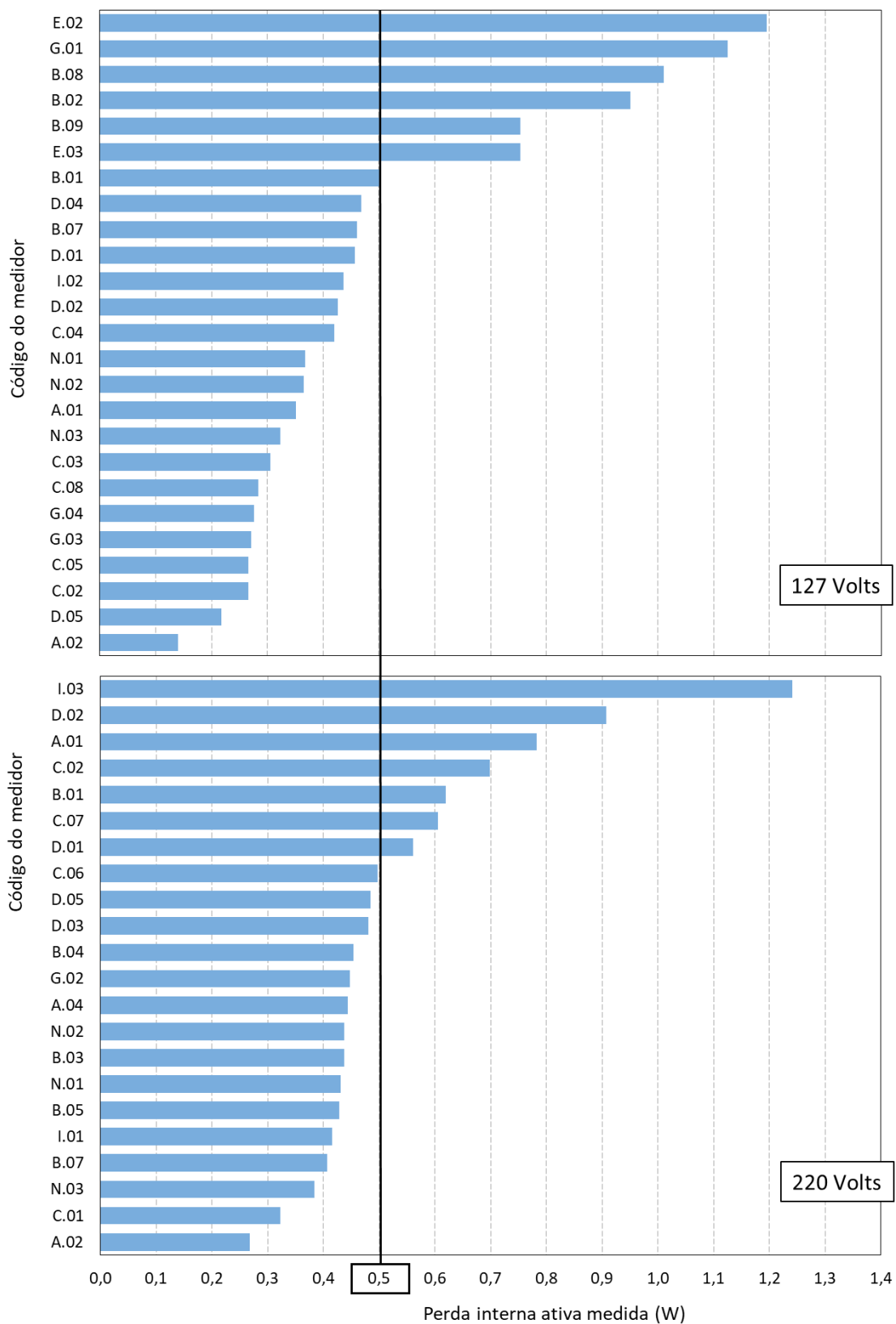


Figura 22 - Perda interna ativa em medidores eletrônicos por nível de tensão.

A Figura 21 mostra que a quase totalidade dos medidores eletromecânicos com tensão de operação em 127 Volts apresentam perdas internas ativas reais superiores às perdas internas ativas regulatórias.

Já para o caso dos medidores eletrônicos, conforme mostrado na Figura 22, o nível de tensão de operação praticamente não altera o percentual de medidores com perdas internas ativas superiores às perdas regulatórias.

Ainda em relação ao impacto da tensão de operação nas perdas ativas internas dos medidores, a Figura 23 mostra a amplitude dessas perdas em medidores eletrônicos do tipo multitensão, considerando-se dois níveis possíveis de tensão de operação (127 e 220V) em cada medidor.

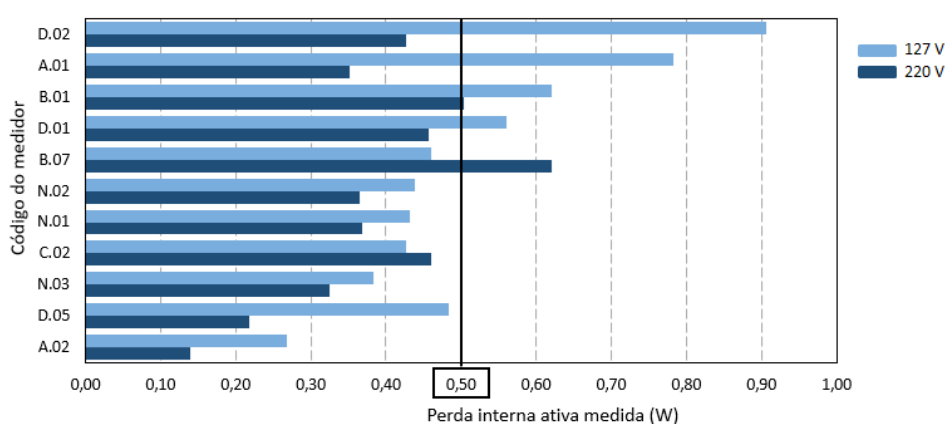


Figura 23 - Medidores eletrônicos de mesmo modelo do tipo multitensão.

Os resultados mostrados na Figura 23 evidenciam que para alguns desses medidores o nível de tensão de operação pode alterar substancialmente a magnitude de sua perda ativa interna.

Finalmente, apresenta-se a seguir os resultados obtidos para outras grandezas elétricas medidas junto as bobinas ou canais de tensão dos medidores de energia elétrica para faturamento de consumidores de baixa tensão.

### 3.3.2 Análise de outras grandezas elétricas em medidores de energia elétrica

O objetivo deste item é a análise de outras grandezas diferentes da perda interna ativa nos medidores. A primeira delas, mostrada pela Figura 24, é a perda interna aparente verificada em medidores eletromecânicos e eletrônicos. De forma complementar, a Figura 25 apresenta a potência reativa e a Figura 26 mostra a distorção harmônica total de corrente verificadas nas bobinas ou canais de tensão desses mesmos medidores.

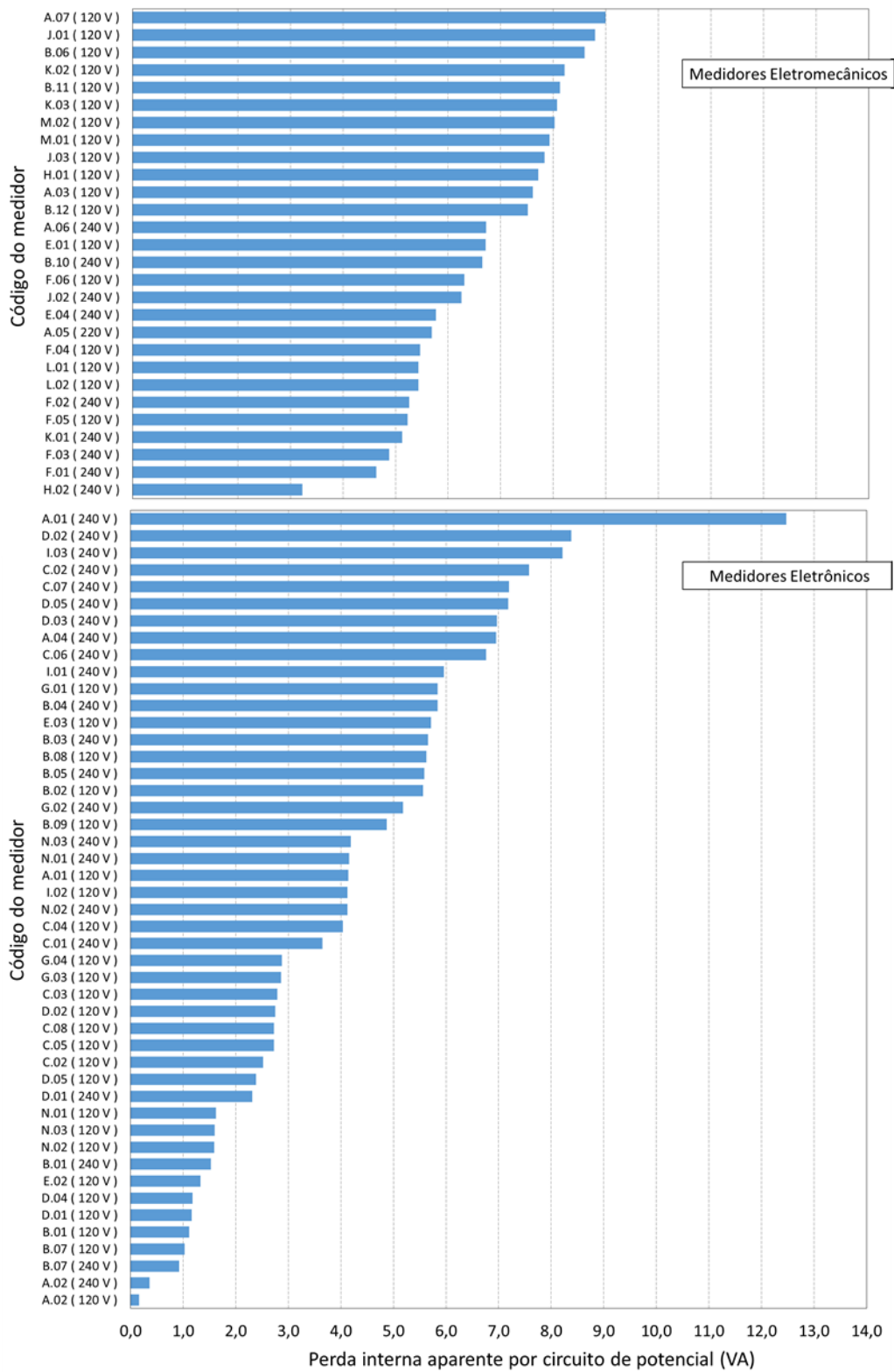


Figura 24 - Perda interna aparente medida.

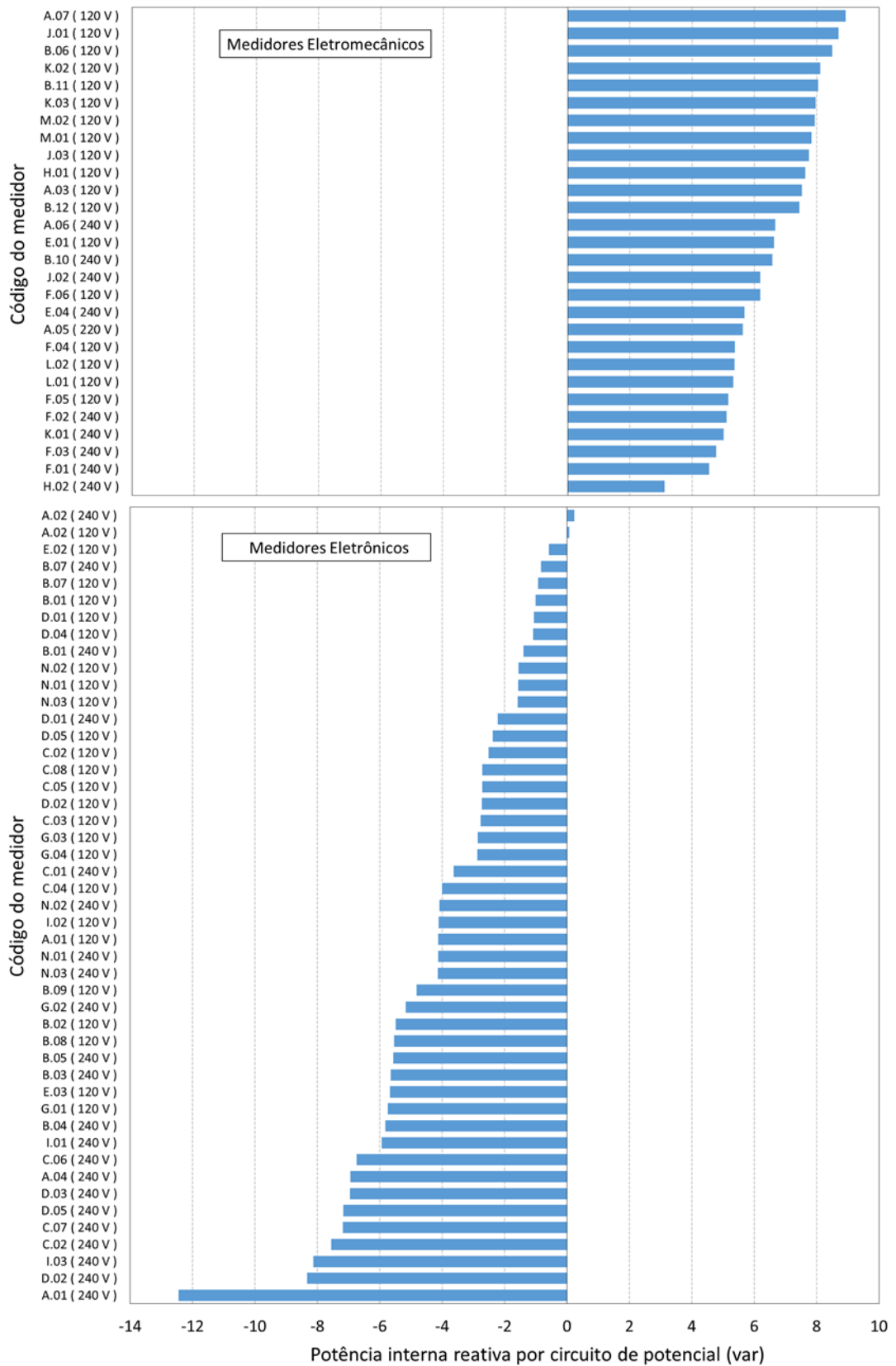


Figura 25 - Potência interna reativa do circuito de tensão.



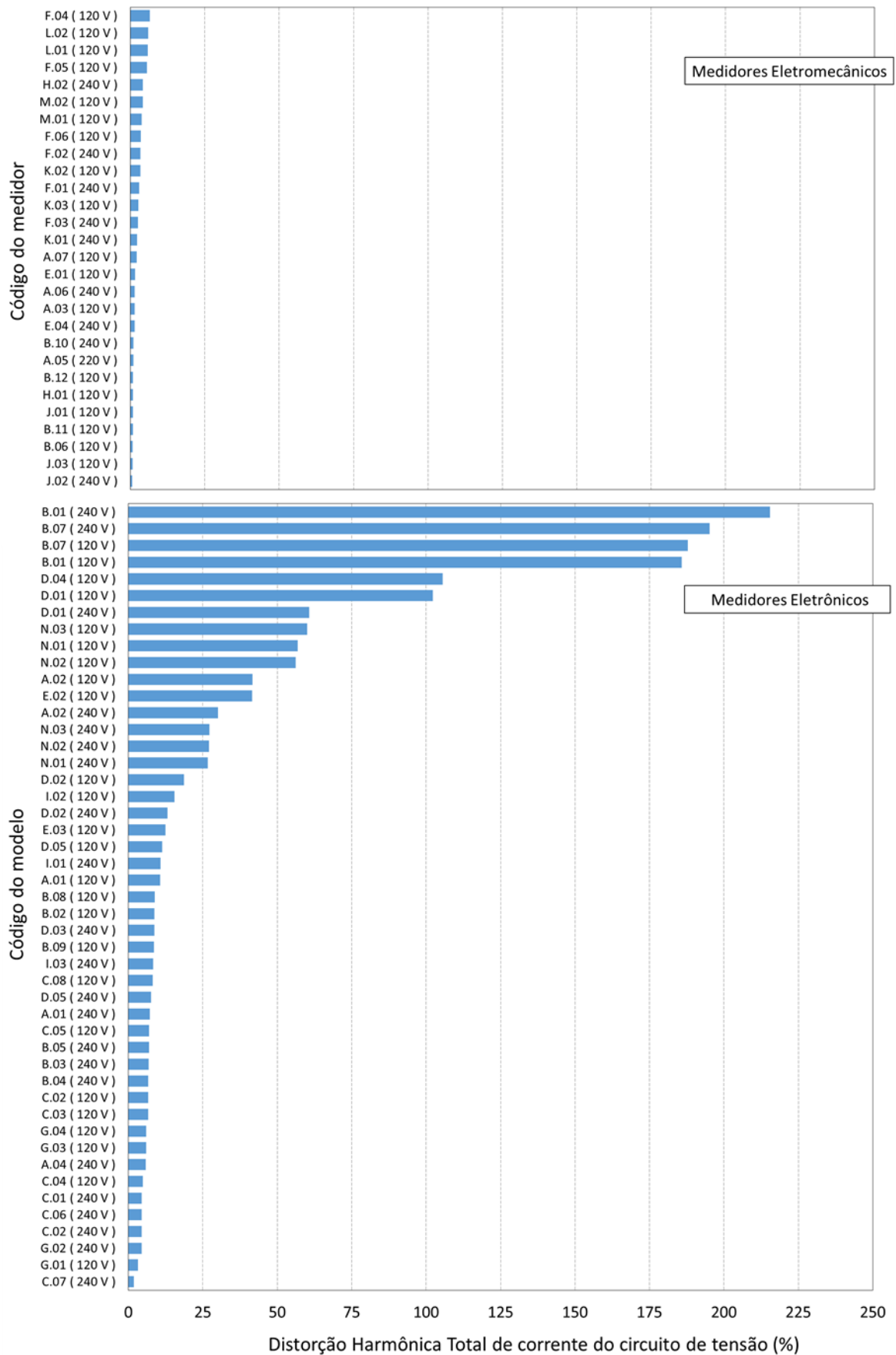


Figura 26 - Distorção Harmônica Total de corrente do circuito de tensão.

As perdas internas aparentes não são objeto de regulamentação no âmbito da ANEEL. Contudo, as Portarias INMETRO nº 285/2008 e nº 587/2012 estabelecem os limites máximos admissíveis para essa grandeza. Nesse contexto, com base nas informações mostradas na Figura 24 verificou-se que apenas um dos medidores testados apresentou valor de potência aparente por canal de tensão superior ao valor estabelecido pelo INMETRO (12 VA).

Sobre o aspecto da potência reativa registrada nos canais de tensão dos diferentes medidores, verificou-se, conforme esperado, que todos os medidores eletromecânicos apresentam característica indutiva, ao passo que todos os medidores eletrônicos, com exceção apenas de dois equipamentos, apresentam características capacitivas.

Finalmente, em relação à distorção harmônica total de corrente registrada nos canais de tensão dos diferentes medidores, verificou-se que essa grandeza é pouco expressiva em medidores do tipo eletromecânico. Em contrapartida, no caso dos medidores eletrônicos, a distorção harmônica total de corrente pode superar, para alguns medidores, a marca de 200% de amplitude em relação à corrente fundamental verificada nos canais de tensão desses equipamentos. Esse fato já era esperado, uma vez que tais equipamentos eletrônicos funcionam a base de chaveamentos que acabam resultando em uma distorção harmônica na forma de onda da corrente.

### **3.3.3 Proposta de alteração da perda interna regulatória**

Com base nos valores medidos de perdas ativas internas, nos mais diversos medidores de energia elétrica para consumidora de baixa tensão, conforme mostrado nas Figuras 16, 17 e 18, fica evidente uma incoerência entre esses valores e os valores das perdas internas regulatórias estabelecidas no Módulo 7 do PRODIST.

Nesse sentido, a Figura 27 apresenta uma análise estatística das perdas ativas internas em medidores do tipo eletromecânico, na qual pode ser observado que, já a partir do percentil 25%, considerando-se a totalidade de medidores eletromecânicos testados, verifica-se a superação do valor da perda interna regulatória definida pela ANEEL. Esse resultado, por si só, demonstra a imediata necessidade de alteração dos valores das perdas internas regulatórias.

No que se refere aos medidores eletrônicos, observa-se na Figura 28 que a superação do valor da perda interna regulatória definida pela ANEEL acontece a partir do percentil 70%. Contudo, em detrimento ao verificado no caso dos medidores eletromecânicos, a diferença de amplitude para a perda ativa interna entre o percentil de corte e o valor máximo registrado é bastante acentuada, evidenciando que para os 30% de medidores restantes (situados acima do

percentil 70%) a amplitude das perdas internas é expressivamente superior ao valor da perda interna ativa regulatória.

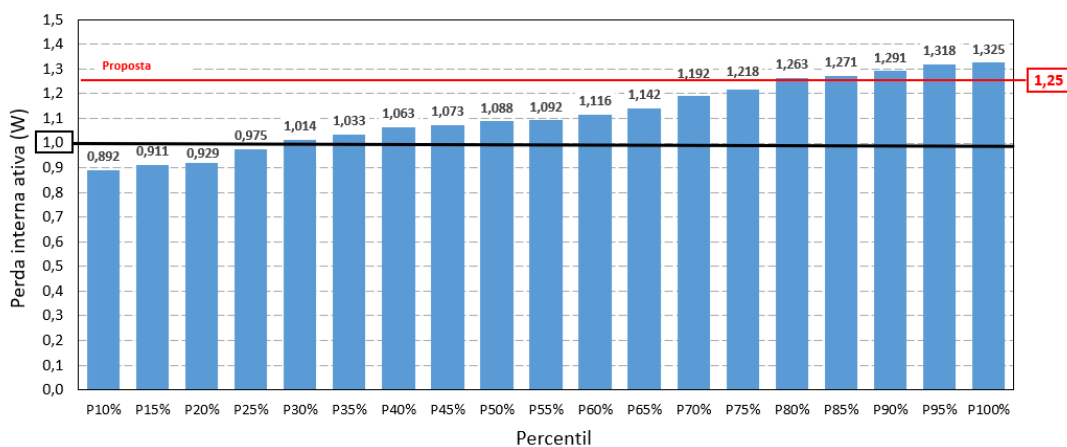


Figura 27 - Análise estatística de perdas internas ativas - medidores eletromecânicos.

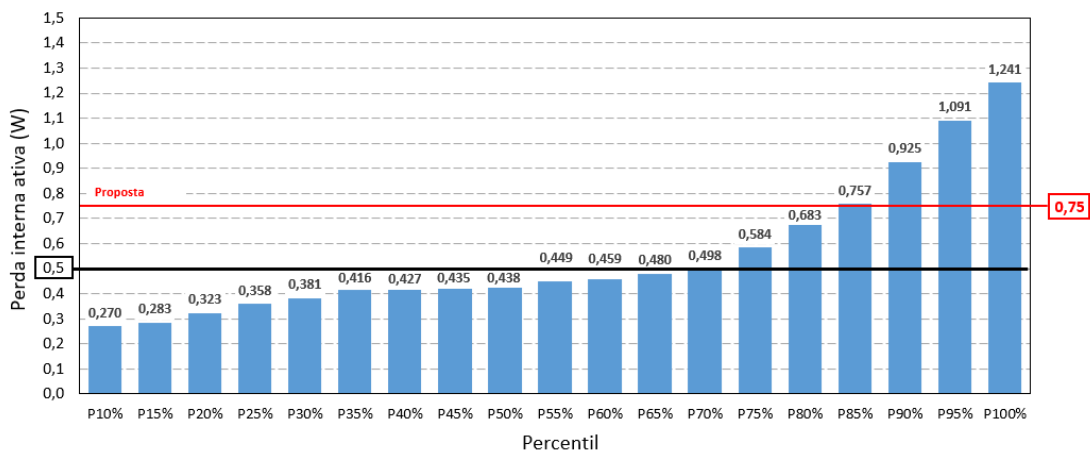


Figura 28 - Análise estatística de perdas internas ativas - medidores eletrônicos.

Diante dessas constatações, de forma a tornar mais justa a apuração das perdas técnicas da distribuição em sistemas de medição de energia elétrica, a proposta deste trabalho é incluir um incremento de 0,25 W nas perdas internas ativas regulatórias, de forma que:

- Para medidores eletromecânicos sejam considerados 1,25 W de perda por circuito de tensão.
- Para medidores eletrônicos sejam considerados 0,75 W de perda por circuito de tensão.

A Figura 29 apresenta uma comparação entre o cenário atual, definido no Módulo 7 dos Procedimentos de Distribuição e o novo cenário proposto.

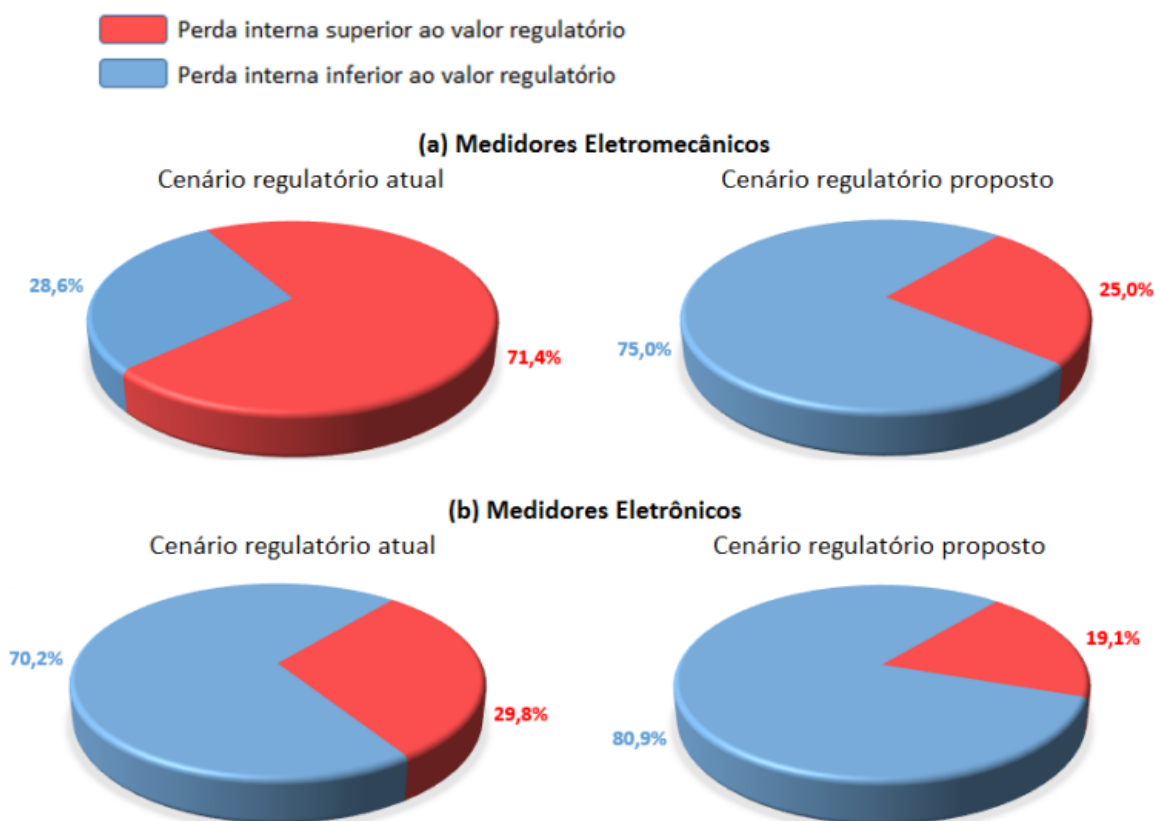


Figura 29 - Análise do impacto da nova proposta.

Da mesma forma, as Tabelas 6 e 7 do Apêndice I apresentam a mesma informação, porém considerando-se um mapa de perdas internas ativas para cada um dos medidores analisados, assim como as características de cada medidor. A Tabela 6 mostra o cenário atual e a Tabela 7 o novo cenário resultante com a nova proposta de alteração. Os valores destacados nas referidas Tabelas indicam os valores superiores aos valores de perdas internas atuais e sugeridos.

### 3.3.4 Análise do impacto financeiro

A partir dos quantitativos de medidores existentes em cada uma das distribuidoras do grupo Energisa, conforme mostrado na Tabela 8 do Apêndice I, pode-se quantificar o impacto financeiro, em termos de reconhecimento tarifário, para cada um dos cenários analisados (cenário atual e cenário proposto).

Para tanto, conforme equação (40), é necessário conhecer os valores médios de compra de energia ( $P_{Mix}$ ), sendo que estes valores foram informados pela própria distribuidora e são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Pmix das distribuidoras analisadas.

Distribuidora	Custo Energia (R\$/MWh)
EBO	175,09
EMG	198,90
EMS	181,77
EMT	201,25
ENF	226,69
EPB	157,07
ESE	174,09
ESS	177,93
ETO	199,21

A Figura 30 apresenta, para o cenário atual, o custo tarifário para o Grupo Energisa associado com a diferença entre as perdas internas reais e as perdas internas regulatórias atuais considerando a quantidade de cada medidor e valoradas ao valor do  $P_{Mix}$  para cada distribuidora, da mesma forma que foi mostrada pela equação (40). Da análise da Figura 30, observa-se que essa diferença (positiva), representa uma perda de R\$ 844.702,62 anuais, totalizando um montante de R\$ 4,22 milhões em 5 anos (período tarifário), a serem repassados automaticamente para a parcela de perdas não-técnicas.

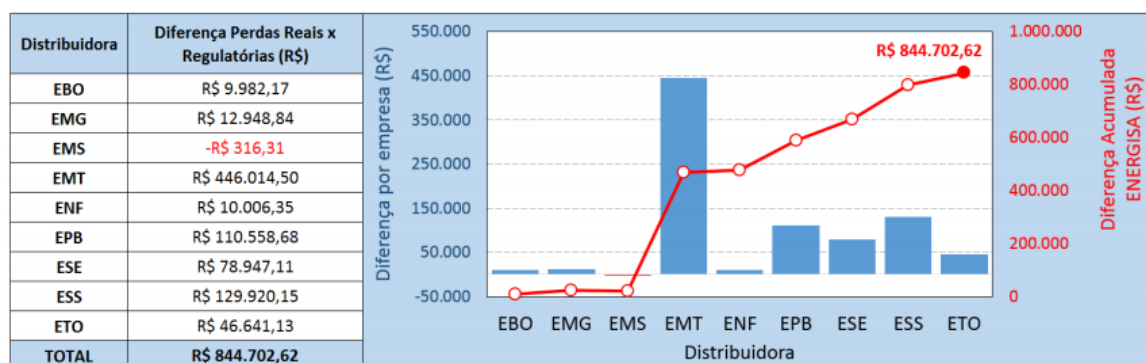


Figura 30 - Custo financeiro de perdas internas ativas considerando-se a perda interna regulatória vigente no âmbito da ANEEL.

Por outro lado, a Figura 31 mostra o resultado considerando a nova proposta para a perda regulatória.

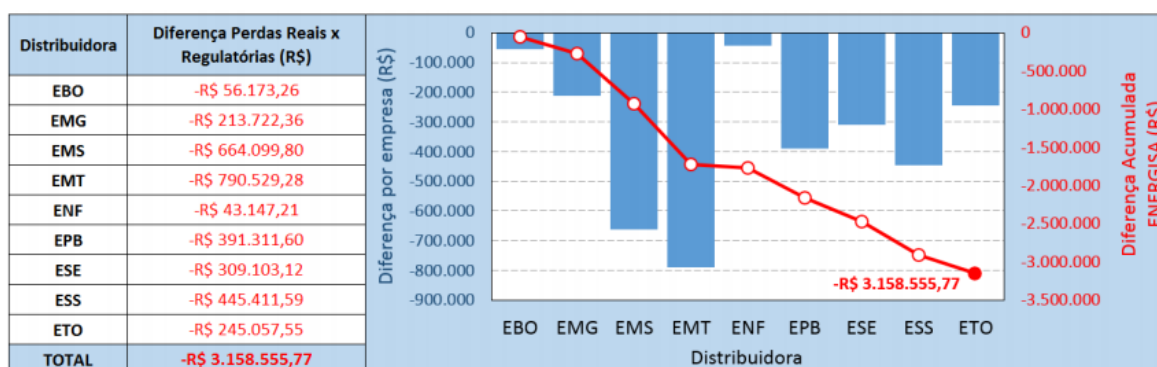


Figura 31 - Custo financeiro de perdas internas regulatórias considerando-se a nova proposta.

Os resultados mostram que a diferença entre as perdas internas reais e as novas perdas internas regulatórias representam um ganho de R\$ 3,16 milhões anuais, totalizando um montante de R\$ 15,79 milhões em 5 anos, a serem corretamente contabilizados na parcela de perdas técnicas.

### **3.4 Considerações finais**

Em síntese, o presente capítulo mostrou que as perdas reais, de maneira geral, são superiores às perdas regulatórias. Além disso, as perdas regulamentadas pelo INMETRO são muito superiores às perdas utilizadas pela ANEEL para fins de cálculos tarifários. Tais fatos mostram por si só que os valores das perdas internas do módulo 7 do PRODIST necessitam de atualização, uma vez que os fabricantes de medidores necessitam atender às normas do INMETRO e não da ANEEL. A inclusão de 0,25 W na perda interna por canal de tensão em casa medidor se mostrou perfeitamente defensável para que a parcela de perda técnica seja contabilizada da maneira mais próxima possível da realidade.

Com o objetivo de dar continuidade ao trabalho, o próximo capítulo apresentará os resultados de desvios de medição com a aplicação de diversos testes com diferentes características de forma de onda.

## 4 DESVIOS DE MEDIÇÃO

Diante da necessidade de avaliar o comportamento dos medidores em condições não senoidais e desequilibradas, o presente capítulo tem por finalidade a realização de testes de desvios de medição com a utilização de um padrão de energia de grande precisão a fim de se garantir uma maior robustez nos resultados.

### 4.1 Elaboração e realização de testes de desempenho

Para a realização do trabalho, ao todo foram elaborados 32 testes de calibração. A Tabela 5 apresenta um resumo descritivo de cada teste realizado.

Tabela 5 – Resumo dos testes realizados.

Módulo	Teste	Descrição
I	1	Tensões e corrente puramente senoidais com fator de potência unitário
	2	Tensões e corrente puramente senoidais com fator de potência igual a 0,50 pu indutivo.
	3	Tensões e corrente puramente senoidais com fator de potência igual a 0,80 pu capacitivo.
II	1	Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais, com fator de potência unitário.
	2	Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais, com fator de potência igual a 0,50 pu indutivo.
	3	Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais, com fator de potência igual a 0,80 pu capacitivo.
III	1	Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas, com fator de potência unitário.
	2	Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas, com fator de potência igual a 0,50 pu indutivo.
	3	Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas, com fator de potência igual a 0,80 pu capacitivo.
IV	1	Tensões e correntes distorcidas, de ordens harmônicas distintas, com fator de potência unitário. Harmônicas: $V_1, V_5$ e $I_1, I_7$
	2	Tensões e correntes distorcidas, de ordens harmônicas distintas, com fator de potência unitário. Harmônicas: $V_1, V_3, V_5$ e $I_1, I_7, I_9$
	3	Tensões e correntes distorcidas, de ordens harmônicas distintas, com fator de potência unitário. Harmônicas: $V_1, V_4, V_6$ e $I_1, I_{10}, I_{12}$
V	1	Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem harmônica, característica harmônica resistiva. Harmônicas: $V_1, V_5, V_7$ e $I_1, I_5, I_7$ . Fluxo de potência harmônica no sentido Fonte - Carga.
	2	Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem harmônica, característica harmônica indutiva. Harmônicas: $V_1, V_5, V_7$ e $I_1, I_5, I_7$ . Fluxo de potência harmônica no sentido Fonte - Carga.
	3	Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem harmônica, característica harmônica capacitiva. Harmônicas: $V_1, V_5, V_7$ e $I_1, I_5, I_7$ . Fluxo de potência harmônica no sentido Fonte - Carga.
VI	1	Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem harmônica, característica harmônica resistiva. Harmônicas: $V_1, V_5, V_7$ e $I_1, I_5, I_7$ . Fluxo de potência harmônica no sentido Carga - Fonte.
	2	Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem harmônica, característica harmônica indutiva. Harmônicas: $V_1, V_5, V_7$ e $I_1, I_5, I_7$ . Fluxo de potência harmônica no sentido Carga - Fonte.

	3	Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem harmônica, característica harmônica capacitiva. Harmônicas: $V_1, V_5, V_7$ e $I_1, I_5, I_7$ . Fluxo de potência harmônica no sentido Carga - Fonte.
VII	1	Teste NBR 14520 - 5.7.3 (Determinação de $e1$ ).
	2	Teste NBR 14520 - 5.7.3.
	3	Teste NBR 14520 - 5.7.4.
	4	Teste considerando-se tensões harmônicas típicas de redes de baixa tensão e correntes harmônicas típicas de consumidores residenciais.
	5	Emulação de retificador de meia onda suprido por tensão senoidal.
	6	Emulação de circuito <i>dimmer</i> com disparo em $90^\circ$ .
	7	Emulação de circuito <i>dimmer</i> com disparo em $135^\circ$ .
	8	Emulação de circuito <i>dimmer</i> com disparo em $90^\circ$ + Conjuntos de lâmpadas.
	9	Emulação de circuito <i>dimmer</i> com disparo em $135^\circ$ + Conjuntos de lâmpadas.
VIII	1	Circuito trifásico desequilibrado na frequência fundamental.
	2	Circuito trifásico desequilibrado na frequência fundamental. Falta de fase.
	3	Circuito trifásico desequilibrado, com componentes harmônicas de tensão e corrente de mesma ordem.
	4	Teste NBR 14520 - 5.7.5 (Determinação de $e1$ ).
	5	Teste NBR 14520 - 5.7.5. Sequência de fase invertida.

Cumpra-se destacar que cada um dos testes mostrados na Tabela 5 é apresentado de maneira detalhada no Apêndice II para a tensão de 120 V, com amplitudes e ângulos, tanto para as componentes fundamentais, quanto para as harmônicas, além da forma de onda e o valor das respectivas potências.

## 4.2 Estrutura laboratorial

Para execução dos testes apresentados na Tabela 5, foi montada uma estrutura laboratorial composta pelos seguintes componentes: (i) uma fonte de potência programável CMC 256 Plus, fabricada pela Omicron Electronics Corp; (ii) um wattímetro de precisão IT9121, fabricado pela ITECH Electronic Corp.; (iii) um leitor de pulsos e mancha de disco fabricado pela Nansen S.A. e (iv) um conversor de pulsos e mancha de disco. Todos os equipamentos utilizados nos testes de calibração desenvolvidos no âmbito deste projeto foram previamente calibrados e certificados pelo LABELO, constituído por complexo de Laboratórios Especializados em Eletroeletrônica da PUC-RS. A Figura 32 apresenta o esquema da estrutura laboratorial concebida para realização dos testes de calibração.



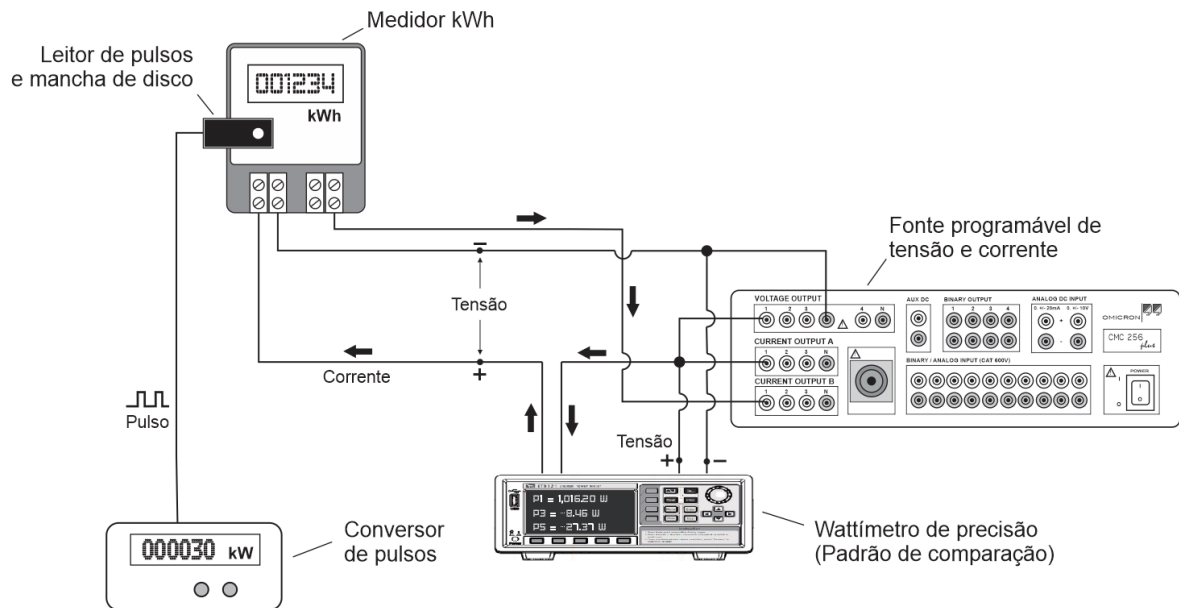


Figura 32 - Estrutura laboratorial utilizada para realização dos testes de calibração em medidores.

Diante dos instrumentos utilizados, a fonte programável é a responsável pela geração de todas as formas de onda mostradas na Tabela 5. O wattímetro de precisão é o instrumento utilizado como padrão, e nele serão obtidos os valores da potência fundamental ( $P_1$ ) e da potência total ( $P$ ).

Conforme já foi visto anteriormente, os medidores de energia que serão ensaiados neste trabalho são medidores de faturamento residenciais, logo, esses foram feitos para quantificar a energia ativa consumida, e não a potência. Sendo assim, faz-se necessária uma forma de converter o valor de energia em uma potência média medida durante o intervalo utilizado para a realização do teste. Para isso é utilizado o leitor de pulsos e mancha de disco e também o conversor de pulsos.

O leitor de pulsos e mancha de disco nada mais é do que um sensor capaz de processar as revoluções de disco, para o caso dos medidores eletromecânicos, ou os pulsos luminosos, no caso dos medidores eletrônicos, em um sinal que é enviado para o conversor de pulsos.

Essa segunda etapa de conversão de pulsos consiste em um microcontrolador Arduino utilizado para fazer o tratamento das informações. Tal aparelho consegue fazer a quantificação do tempo entre cada pulso, de modo que, com as informações do índice  $Kh$  do medidor, é possível a quantificação da potência, conforme equação (43).

$$P_{med} = \frac{Kh}{T_{médio}/3600} \quad (43)$$

Onde:

$P_{med}$  é a potência medida pelo medidor, expressa em  $W$ ;

$T_{médio}$  é o tempo médio entre os pulsos ou revoluções, expresso em segundos; e

$Kh$  é a constante de calibração, expressa em  $Wh/pulso$  ou  $Wh/rotação$ .

Para fins de estabilização do sistema e para uma maior precisão no resultado, os 3 primeiros pulsos são descartados e é considerado um total de 10 pulsos completos para a quantificação da potência.

Finalmente, com o arranjo laboratorial, é possível quantificar o erro, conforme equação (44).

$$\xi = \frac{P_{med} - P_{ref}}{P_{ref}} \times 100 \quad (44)$$

Onde:

$P_{med}$  é a potência medida pelo medidor, expressa em  $W$ ; e

$P_{ref}$  é potência de referência, expressa em  $W$ .

Sendo que  $P_{med}$  nada mais é do que a leitura obtida do leitor de pulsos e  $P_{ref}$  é a potência medida pelo wattímetro de precisão, sendo que para esta, será utilizada a potência fundamental ( $P_1$ ) como padrão, porém, também serão apresentados os resultados tomando como referência a potência total ( $P$ ).

### 4.3 Resultados dos testes de calibração

Os testes para análise dos desvios de medição apresentados na Tabela 5, assim como os testes de perdas internas, foram realizados em um total de 28 medidores do tipo eletromecânico (9 fabricantes distintos) e 36 medidores do tipo eletrônico (8 fabricantes distintos). Mais uma vez salienta-se que dos 36 medidores eletrônicos, 11 modelos são do tipo multitensão e possuem tensão nominal de 120 e 240 V, sendo assim, primeiro foram realizados os ensaios considerando a tensão nominal de 120 V e na sequência a tensão nominal de 240 V, sendo que os resultados serão apresentados também separadamente, como se fossem 2 medidores diferentes, resultando em um total de 47 medidores eletrônicos. Por fim, a corrente nominal de todos os medidores utilizados é 15 A, porém aqui será considerada como corrente nominal o valor de 10 A.

Os valores registrados pelo medidor ( $P_{med}$ ) foram comparados com o valor registrado da potência fundamental medida pelo wattímetro de precisão, que foi utilizada como valor padrão. Contudo, também serão apresentados os resultados com a comparação feita também com a potência total a fim de uma análise mais crítica do efeito da distorção harmônica em cada teste.

Por fim, cumpre destacar que os testes dos Módulos de I a VII foram realizados aplicando tensão e corrente em apenas em uma fase dos medidores, e nesses é analisada apenas a influência da distorção harmônica nos resultados dos desvios de medição. Já para o Módulo VIII, as formas de onda de tensão e corrente foram aplicadas nas 3 fases, de modo a verificar a influência, tanto da distorção harmônica, quanto do desequilíbrio de tensão para os medidores trifásicos.

Para fins de comparação, os resultados também serão apresentados estratificados de acordo com o tipo de medidor, sendo estes os eletromecânicos e os eletrônicos e, para todos os testes, os erros dos medidores serão comparados sempre com a sua respectiva classe de exatidão. Neste trabalho, todos os medidores eletromecânicos são de classe A (exatidão de 2,0%) e eletrônicos de classe B (exatidão de 1,0%). Além disso, todos os resultados apresentados nesse capítulo também são mostrados nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 do Apêndice III.

### **4.3.1 Módulo I – Tensões e correntes puramente senoidais**

O Módulo I consiste na aplicação de formas de onda puramente senoidais com amplitudes de 100%, porém com diferentes fatores de potência, sendo que o primeiro teste é para um circuito totalmente resistivo, o segundo indutivo e o terceiro capacitivo.

#### **4.3.1.1 Teste I.1 – Tensões e correntes senoidais (Resistivo)**

Nessa etapa foram aplicadas tensão e a corrente puramente senoidais, em 60 Hz, com amplitudes nominais e fator de potência unitário. É possível ver os resultados desse teste para os medidores eletromecânicos e eletrônicos pelas Figuras 33 e 34, respectivamente.

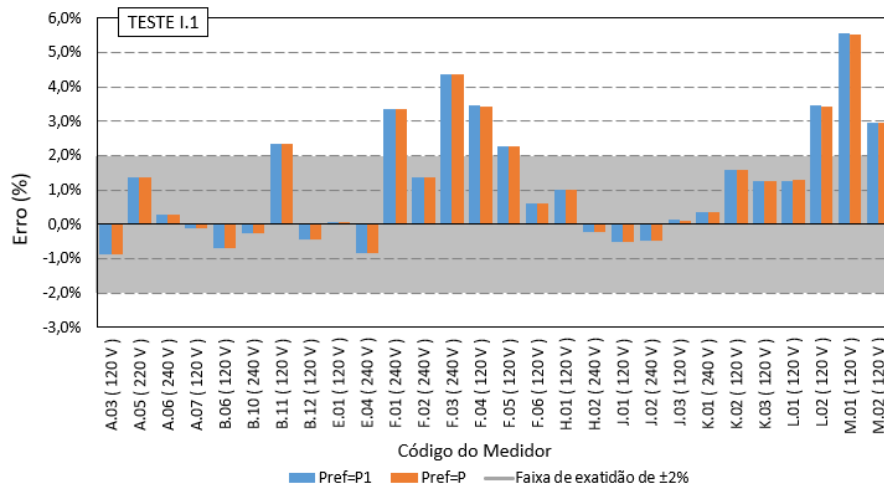


Figura 33 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste I.1.

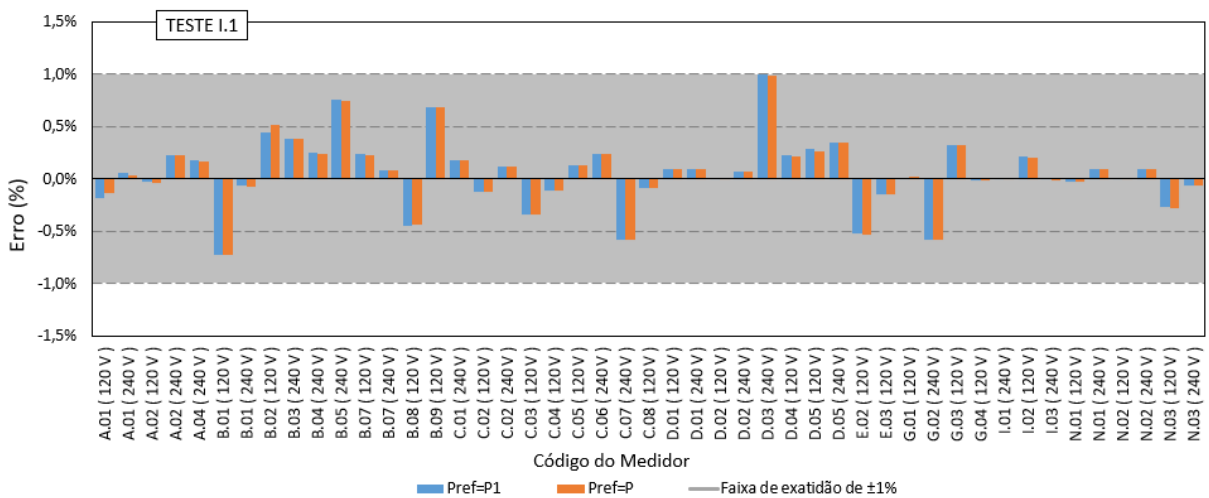


Figura 34 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste I.1.

Nota-se que, utilizando a potência fundamental ( $P_1$ ) como referência, mesmo para condições nominais de operação, alguns dos medidores eletromecânicos apresentaram erros significativos, com destaque para o M.01, que ficou com um erro de 5,55%. De maneira geral, 8 dos 28 medidores eletromecânicos (29% do total) ficaram fora da faixa de exatidão, enquanto todos os eletrônicos ficaram dentro da mesma, apresentando uma leitura correta.

Os resultados tomando como referência a potência total ( $P$ ) foram semelhantes.

#### 4.3.1.2 Teste I.2 – Tensões e correntes senoidais (Indutivo)

O segundo teste para esse Módulo consiste na utilização de corrente e tensões fundamentais, mas com um fator de potência de 0,5 indutivo. O resultado é mostrado pelas Figuras 35 e 36 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

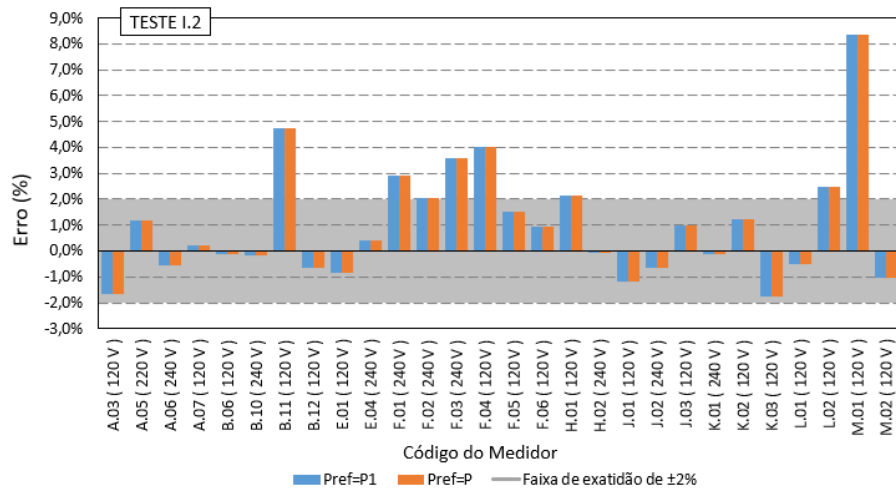


Figura 35 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste I.2.

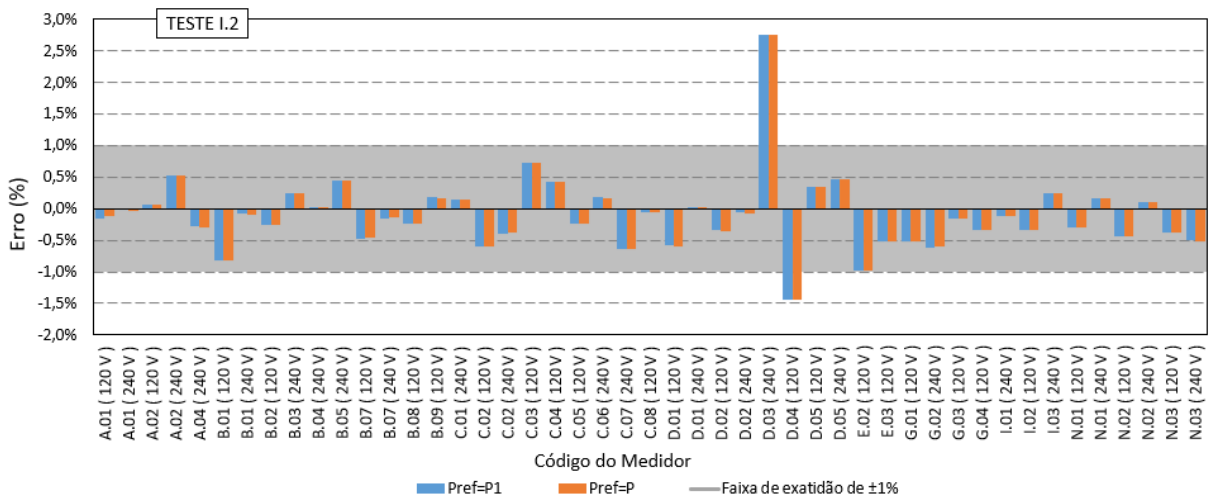


Figura 36 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste I.2

Observa-se que, quando tomada como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), para os medidores eletromecânicos, há um comportamento igual ao teste anterior, sendo que o medidor que registrou o maior erro foi o M.01 novamente, porém agora com uma amplitude de 8,38%. Para os medidores eletrônicos, o maior erro foi registrado pelo medidor D.03 de 2,75%. De maneira geral, 8 medidores eletromecânicos (29% do total) e 2 medidores eletrônicos (4% do total) ficaram fora da faixa de exatidão.

Novamente os resultados quando tomada como referência a potência total ( $P$ ) foram semelhantes.

### 4.3.1.3 Teste I.3 – Tensões e correntes senoidais (Capacitivo)

O próximo teste também consiste na utilização de tensões e correntes senoidais, mas agora com um fator de potência de 0,8 capacitivo. Os resultados dos testes para medidores eletromecânicos e eletrônicos podem ser vistos pelas Figuras 37 e 38, respectivamente.

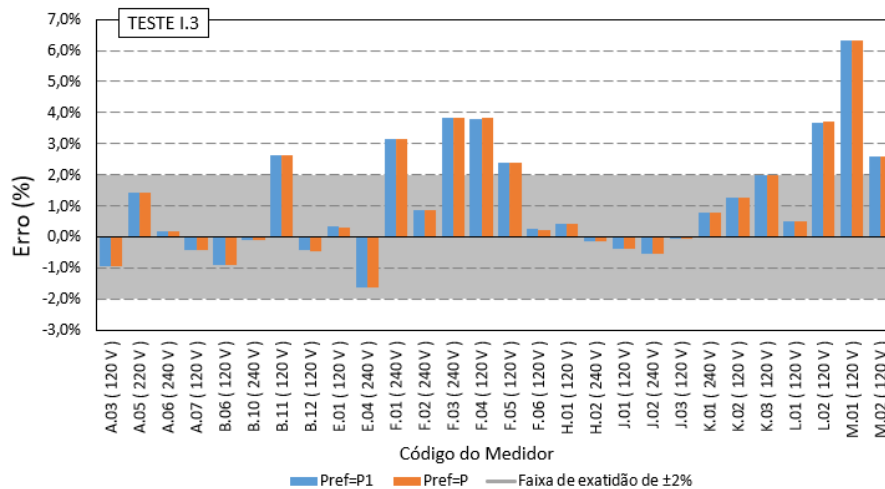


Figura 37 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste I.3.

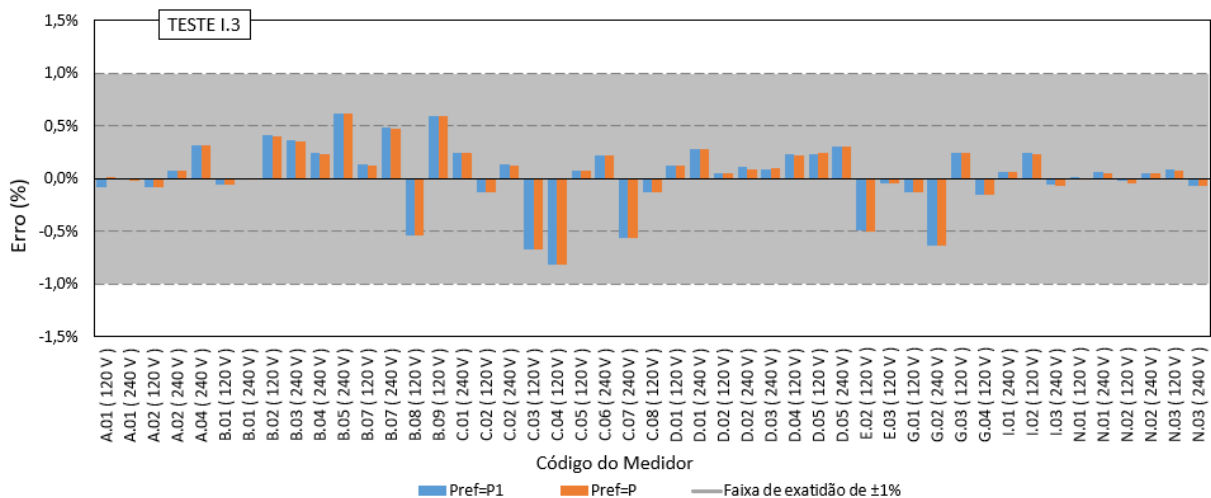


Figura 38 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste I.3.

Novamente observa-se que, tomando como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), os resultados para os medidores eletromecânicos ficaram parecidos com os dois primeiros testes em condições senoidais, com 8 medidores (29% do total) fora da faixa de exatidão com o maior desvio de 6,30% mais uma vez para o medidor M.01. Para os medidores eletrônicos não houve desvio significativo, apresentando todos os resultados dentro da faixa de exatidão.

Como era de se esperar, para este primeiro módulo de testes não houve muita diferença entre os resultados se comparados com a potência fundamental ( $P_1$ ) ou a potência total ( $P$ ), uma vez que o teste não apresenta a componente de potência harmônica  $P_h$ .

### 4.3.2 Módulo II – Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais

O segundo Módulo de testes é bastante parecido com o primeiro se comparadas as componentes fundamentais. A única diferença é que foram incluídas algumas ordens harmônicas na forma de onda da tensão.

#### 4.3.2.1 Teste II.1 – Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais (Resistivo)

Para o primeiro teste, as amplitudes e ângulos de corrente e tensão fundamentais foram mantidos iguais ao do teste I.1, mas agora com a aplicação de harmônicas de ordem 3, 5 e 7 com amplitudes de 3%, 4% e 2%, respectivamente, na forma de onda da tensão. Os resultados para medidores eletromecânicos e eletrônicos são mostrados pelas Figuras 39 e 40, respectivamente.

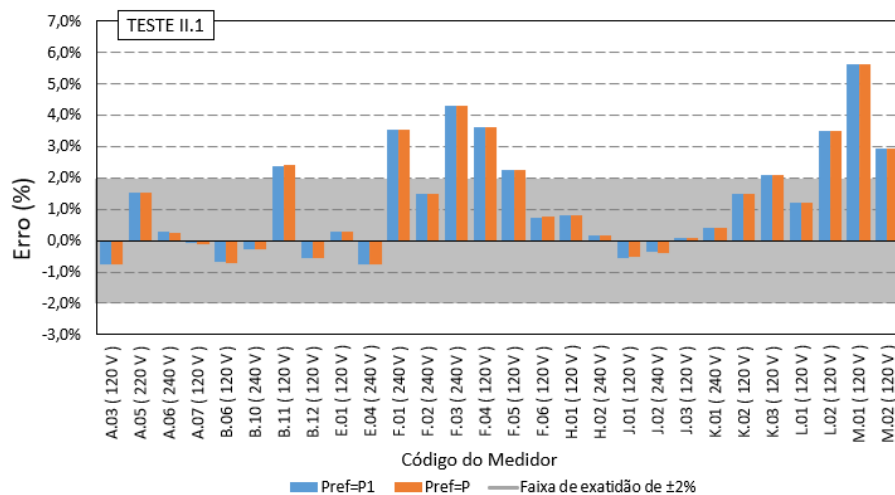


Figura 39 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste II.1.

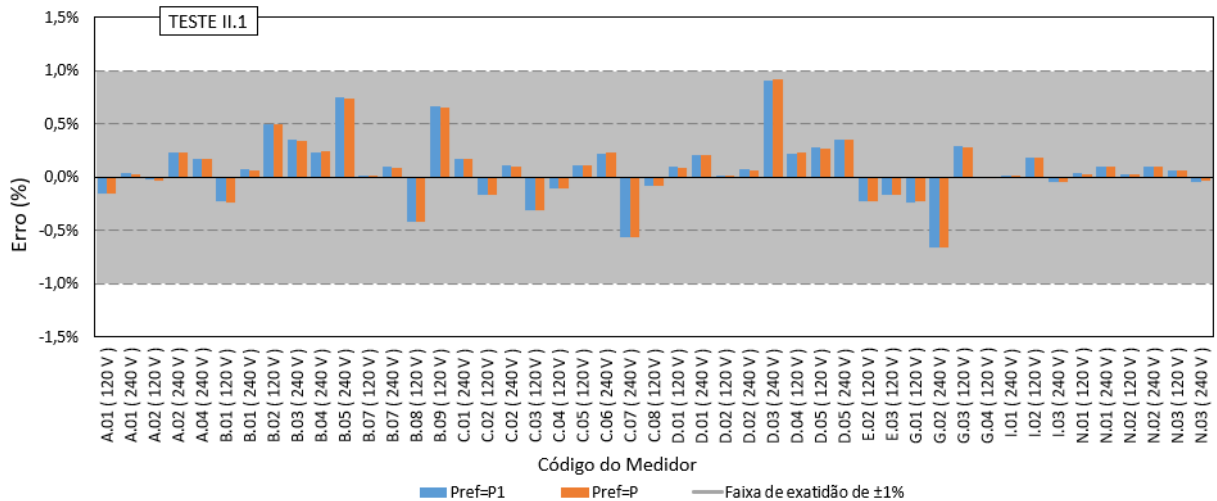


Figura 40 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste II.1.

Tomando como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), os resultados mostram que o maior erro continua sendo para o medidor M.01, agora com uma amplitude de 5,64%. De maneira geral, 9 medidores eletromecânicos (32% do total) violaram a faixa de exatidão, enquanto todos os medidores eletrônicos ficaram dentro da mesma.

Novamente os resultados quando tomada como referência a potência total ( $P$ ) foram semelhantes.

#### 4.3.2.2 Teste II.2 – Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais (Indutivo)

O teste II.2 consiste na utilização tensões e correntes fundamentais com um fator de potência de 0,5 indutivo e com a tensão distorcida, aplicando-se as mesmas ordens harmônicas do teste anterior. Os resultados para medidores eletromecânicos e eletrônicos são mostrados pelas Figuras 41 e 42, respectivamente.



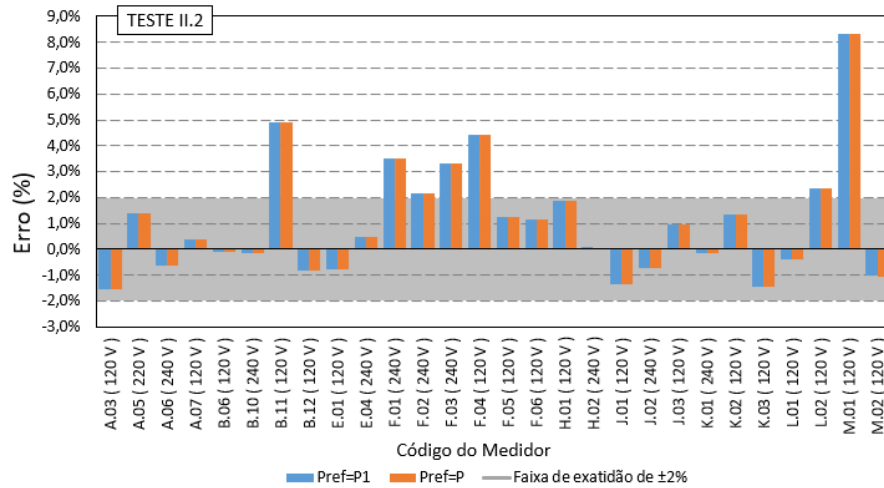


Figura 41 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste II.2.

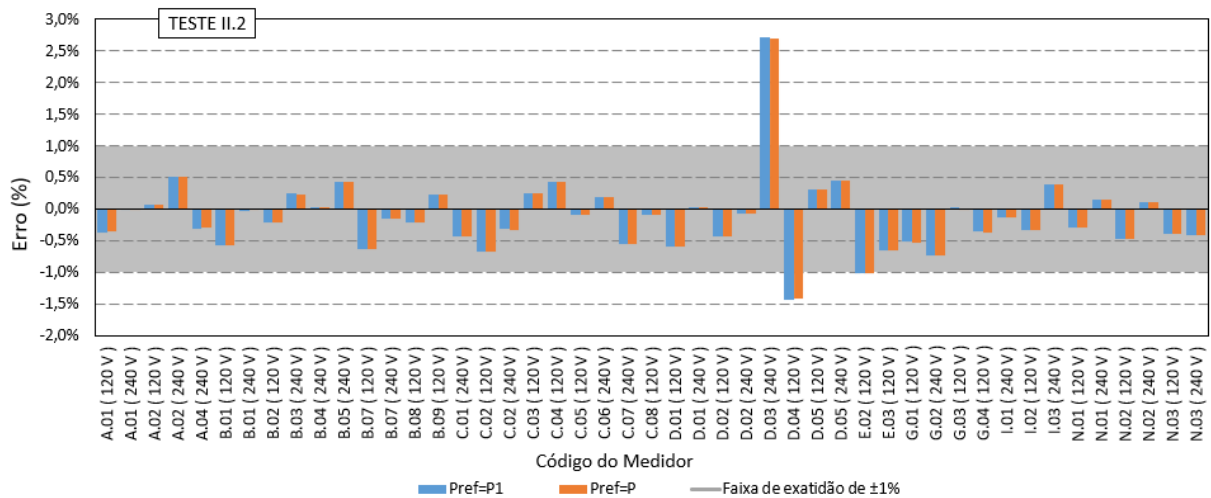


Figura 42 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste II.2.

Novamente, tomando como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), o maior desvio para os medidores eletromecânicos foi para o medidor M.01, agora com uma amplitude de 8,31% e para os eletrônicos foi para o medidor D.03, com uma amplitude de 2,71%. De maneira geral, 7 medidores eletromecânicos (25% do total) e 3 eletrônicos (6% do total) ficaram fora da faixa de exatidão.

Além disso, mais uma vez os resultados quando tomada como referência a potência total ( $P$ ) foram semelhantes

### 4.3.2.3 Teste II.3 – Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais (Capacitivo)

O teste II.3 consiste na aplicação de tensões e correntes senoidais um fator de potência de 0,8 capacitivo, mas com tensão distorcida utilizando as mesmas ordens harmônicas do teste

anterior. Os resultados podem ser verificados pelas Figuras 43 e 44 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

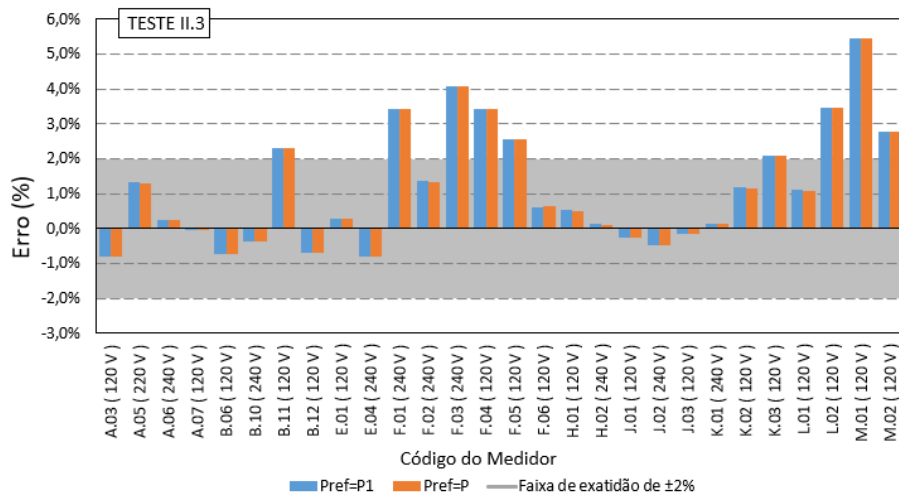


Figura 43 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste II.3.

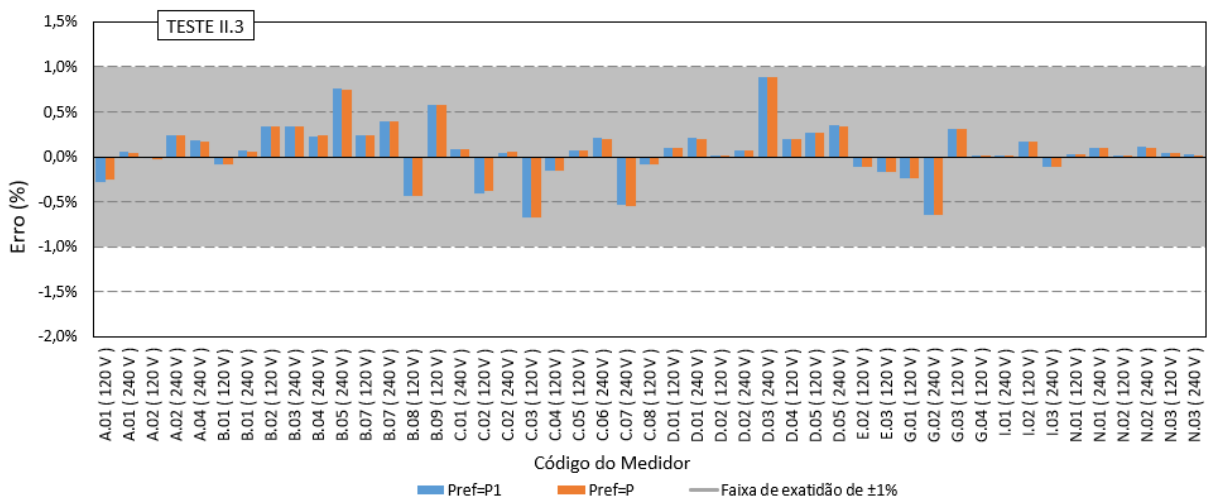


Figura 44 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste II.3.

Novamente, quando a potência fundamental ( $P_1$ ) é tomada como referência, o maior desvio dos medidores eletromecânicos foi de 5,44%, novamente para o medidor M.01. De maneira geral, 9 medidores eletromecânicos (32% do total) ficaram fora da faixa de exatidão, enquanto que todos os medidores eletrônicos ficaram dentro da mesma, não apresentando desvios significativos.

Todos os resultados desse Módulo mostram que não há diferenças significativas se comparados os desvios tomando como referência a potência fundamental ou a potência total, pois neste conjunto de testes, novamente não há  $P_h$ , uma vez que para este possuir valor diferente de zero, é necessário que haja correntes e tensões harmônicas de mesma ordem.

### 4.3.3 Módulo III – Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas

O terceiro Módulo de testes é semelhante ao segundo, porém agora serão aplicadas distorções harmônicas na forma de onda da corrente.

#### 4.3.3.1 Teste III.1 – Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas (Resistivo)

Para o primeiro teste do Módulo III, foram utilizadas tensões e correntes fundamentais em fase, mas agora com a aplicação de harmônicas de ordem 3, 5 e 7 com amplitudes de 25%, 40% e 15%, respectivamente, na forma de onda da corrente. Os resultados do primeiro teste são mostrados pelas Figuras 45 e 46 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

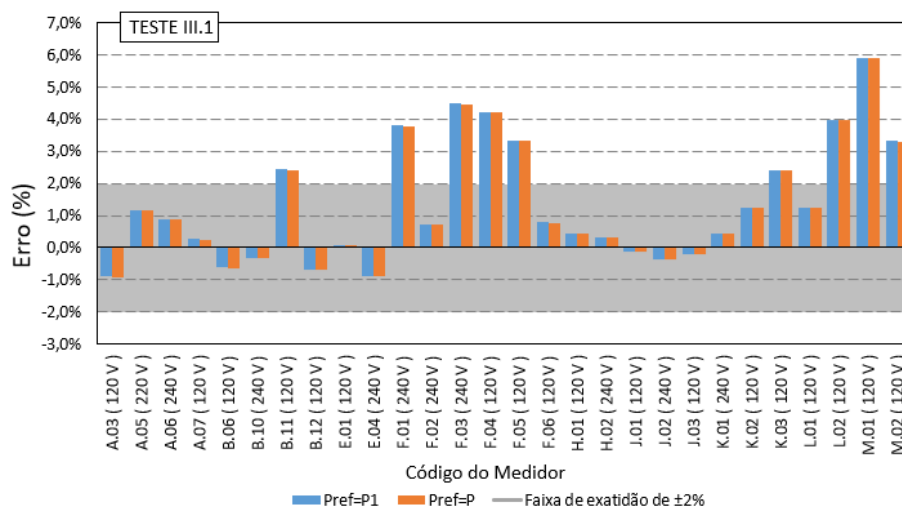


Figura 45 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste III.1.

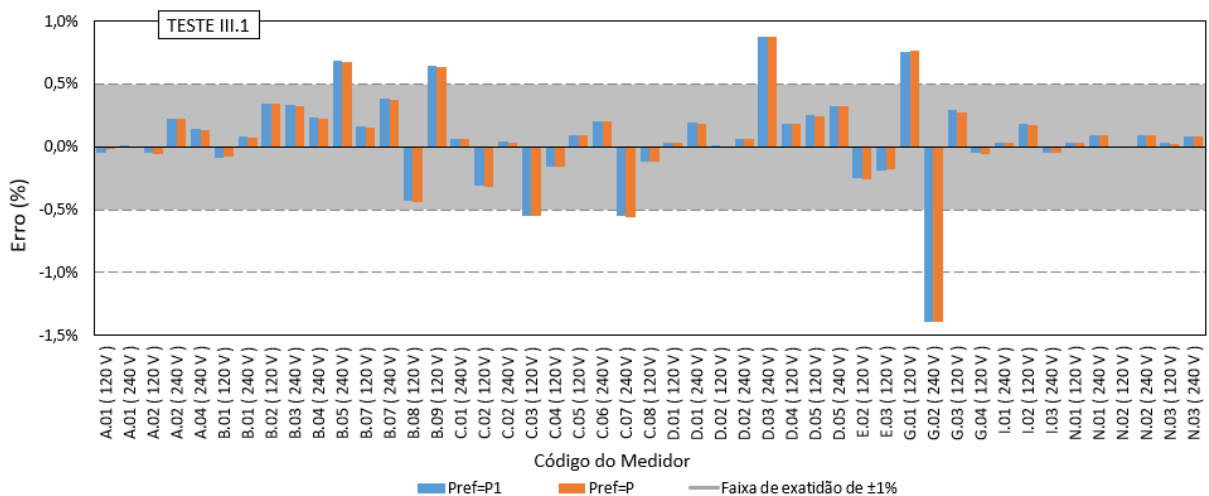


Figura 46 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste III.1.

Quando tomada como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), os resultados mostram mais uma vez com o maior desvio no medidor M.01 agora de 5,91%. Em relação aos eletromecânicos, o maior e único desvio foi do medidor G.02 de -1,39%. De maneira geral, 9 medidores eletromecânicos (32% do total) e 1 medidor eletrônico (2% do total) ficaram fora da faixa de exatidão.

Mais uma vez os resultados comparados quando tomada como referência a potência total ( $P$ ) ficaram bastante semelhantes.

### 4.3.3.2 Teste III.2 – Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas (Indutivo)

O teste III.2 consiste na utilização tensões e correntes fundamentais com um fator de potência de 0,5 indutivo e com a corrente distorcida, aplicando-se as mesmas ordens harmônicas do teste anterior. Os resultados para medidores eletromecânicos e eletrônicos são mostrados pelas Figuras 47 e 48, respectivamente.

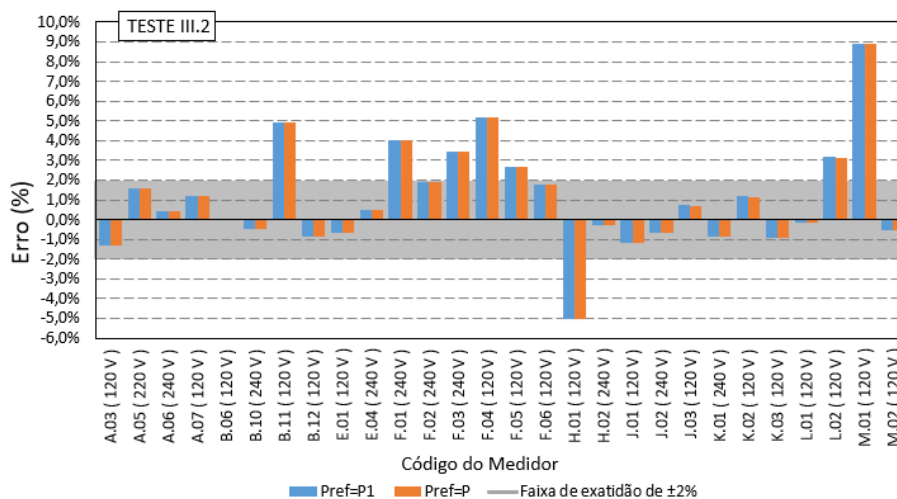


Figura 47 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste III.2.

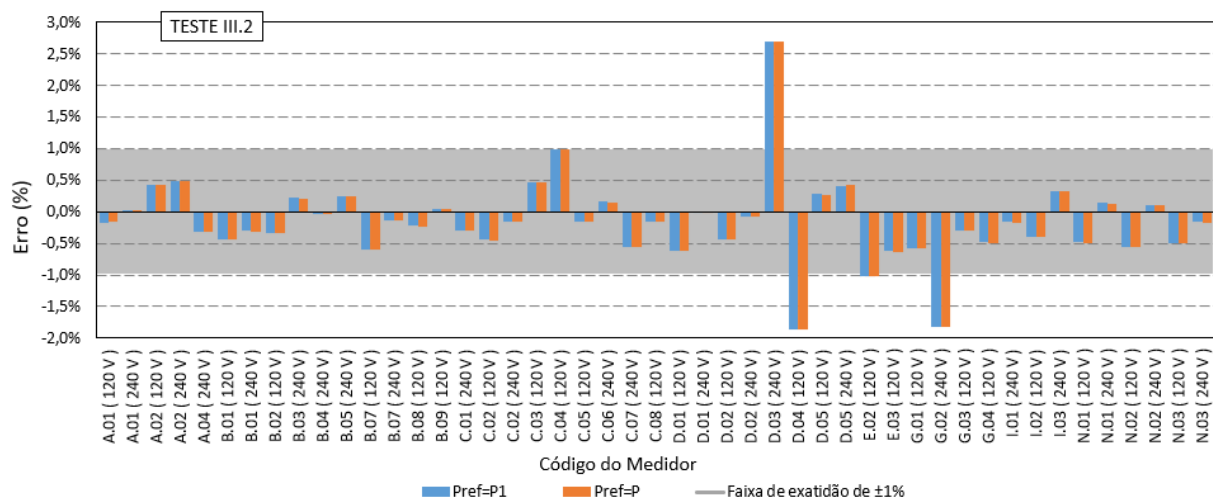


Figura 48 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste III.2.

Mais uma vez, quando tomada como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), o maior desvio registrado foi para o medidor eletromecânico M.01, com um percentual de 8,91%. Em relação aos eletrônicos, o pior desvio foi para o medidor D.03, com um percentual de 2,69%. Em síntese, 8 medidores eletromecânicos (29% do total) e 4 eletrônicos (9% do total) ficaram fora da faixa de exatidão.

Mais uma vez os resultados comparados quando tomada como referência a potência total ( $P$ ) ficaram bastante semelhantes.

#### 4.3.3.3 Teste III.3 – Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas (Capacitivo)

O teste III.3 consiste na aplicação de tensões e correntes senoidais um fator de potência de 0,8 capacitivo, mas com a corrente distorcida utilizando as mesmas ordens harmônicas do teste anterior. Os resultados dos testes para o circuito capacitivo são mostrados pelas Figuras 49 e 50 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

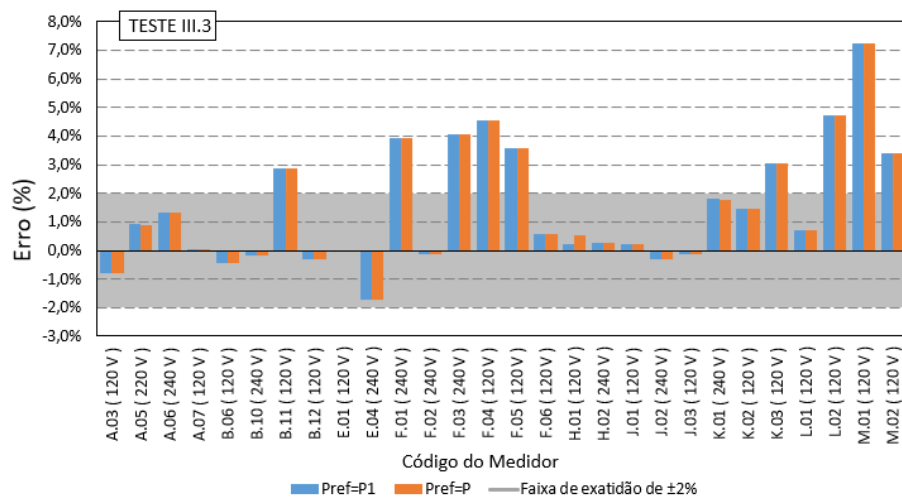


Figura 49 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste III.3.

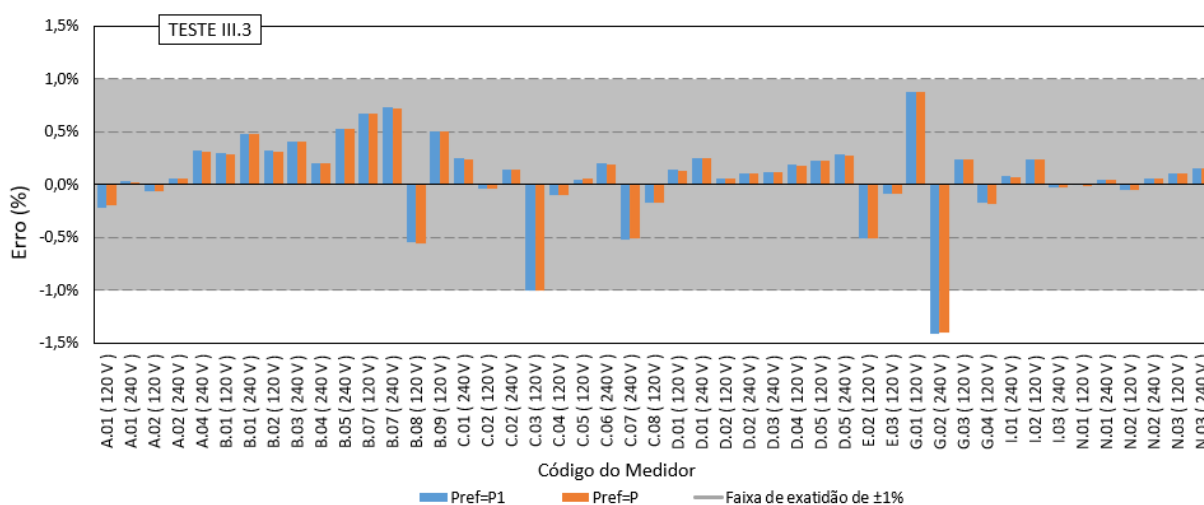


Figura 50 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste III.3.

Mais uma vez, quando tomada como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), observa-se um comportamento semelhante aos dos testes I.3 e II.3 para os medidores eletromecânicos, com um desvio de 7,23% para o medidor M.01. Já para os medidores eletrônicos o maior desvio foi de -1,41% para o medidor G.02. De maneira geral, 9 medidores eletromecânicos (32% do total) e 2 eletrônicos (4% do total) ficaram fora da faixa de exatidão.

Novamente foi possível observar que os testes ficaram parecidos quando utilizada como referência a potência total. Esse fato ocorre de maneira semelhante aos testes do Módulo II, onde foram aplicadas apenas a tensão distorcida, e do Módulo I, onde os sinais eram puramente senoidais. Tal fato ocorre devido ao fato de que são necessárias harmônicas de mesma ordem, tanto na tensão quanto na corrente para que exista  $P_h$ , para que haja algum impacto mais significativo nos resultados da comparação quando tomara como referência a potência fundamental e total.

### 4.3.4 Módulo IV – Tensões e correntes distorcidas com ordens distintas

O Módulo IV consiste na realização de testes com tensão e corrente fundamentais resistivas, porém também serão aplicadas frequências harmônicas de ordens distintas.

#### 4.3.4.1 Teste IV.1 – Tensões e correntes distorcidas com ordens distintas (Resistivo)

O teste IV.1 consiste na aplicação de uma 5ª harmônica de tensão na ordem de 10% e de uma 7ª harmônica de corrente na ordem de 20%. Os resultados dos testes para medidores eletromecânicos e eletrônicos podem ser vistos pelas Figuras 51 e 52, respectivamente.

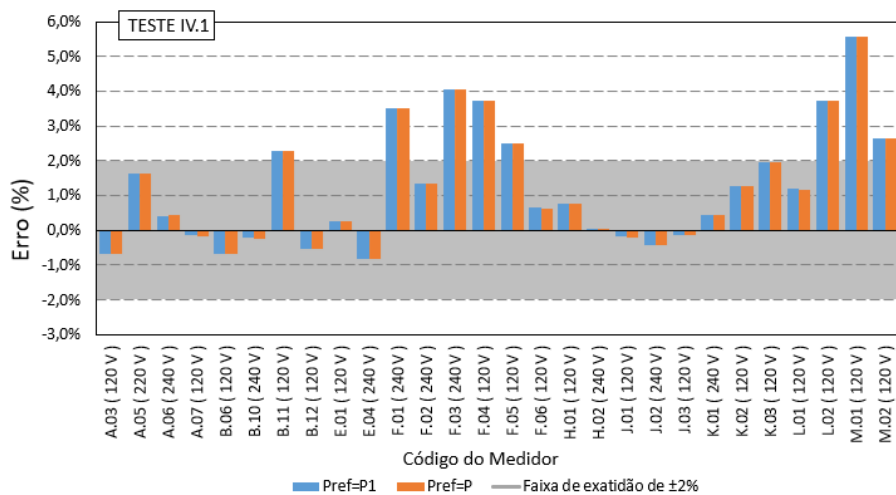


Figura 51 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste IV.1.

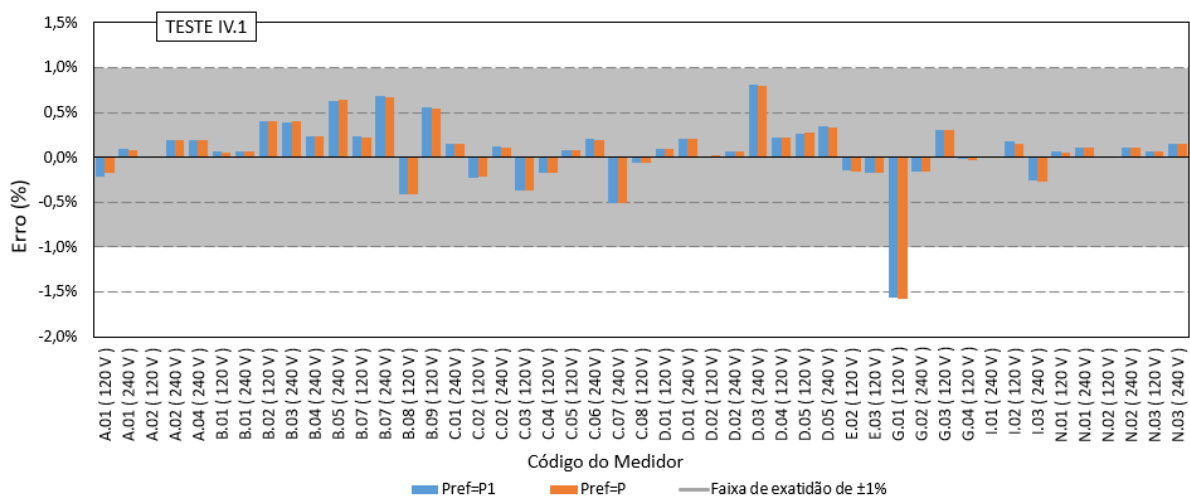


Figura 52 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste IV.1.

Nota-se que, quando tomada como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), um total de 8 medidores eletromecânicos ficaram fora da faixa de exatidão (29% do total), sendo que o

medidor M.01 registrou novamente o maior desvio (5,56%). Em relação aos medidores eletrônicos, o único e maior desvio foi registrado em -1,56% para o medidor G.01.

#### 4.3.4.2 Teste IV.2 – Tensões e correntes distorcidas com ordens distintas (Resistivo)

O teste IV.2 é semelhante ao teste IV.I, porém dessa vez são aplicadas harmônicas de 3ª e 5ª ordens com amplitude de 7% na tensão e 7ª e 9ª ordens com amplitude de 15% na corrente. Os resultados são mostrados pelas Figuras 53 e 54 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

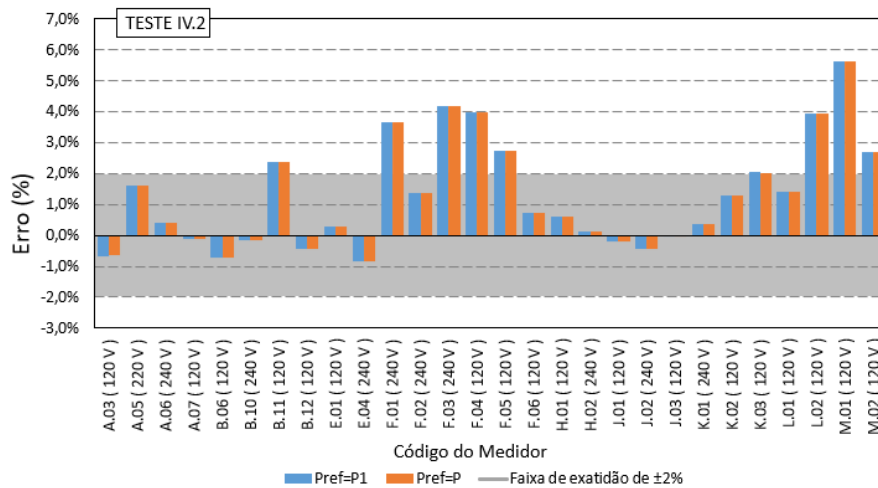


Figura 53 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste IV.2.

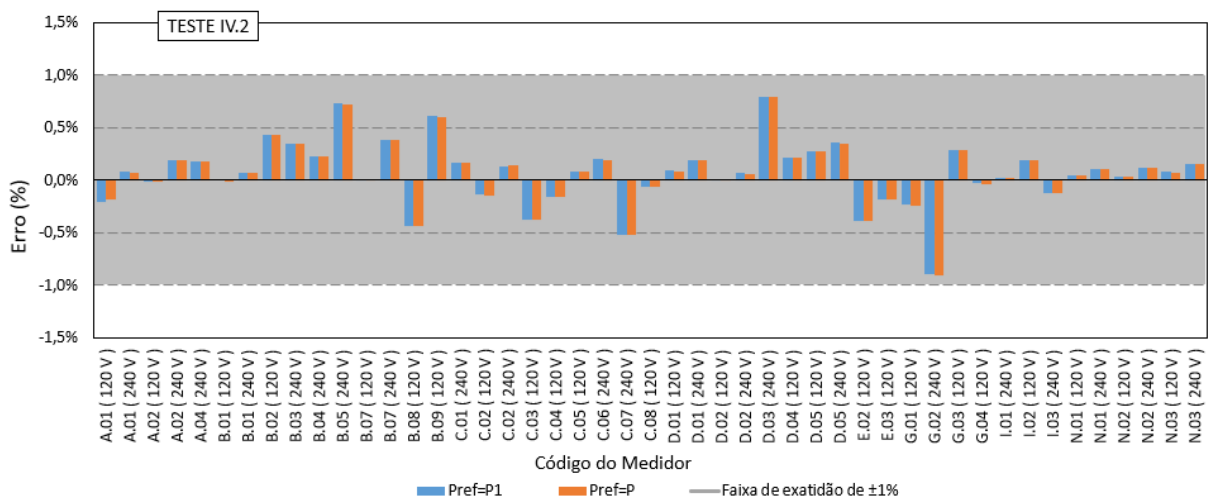


Figura 54 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste IV.2.

Quando tomada como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), os resultados mostram que um total de 9 medidores eletromecânicos ficaram fora da faixa de exatidão (32% do total),



com o maior desvio apresentado novamente pelo medidor M.01 em torno de 5,64%. Quanto aos medidores eletrônicos, não houve violação da faixa de exatidão.

#### 4.3.4.3 Teste IV.3 – Tensões e correntes distorcidas com ordens distintas (Resistivo)

O teste IV.3 consiste na aplicação de harmônicas de 4ª e 6ª ordens com amplitudes de 7% na tensão e de 10ª e 12ª ordens com amplitudes de 15% na corrente. As Figuras 55 e 56 mostram os resultados para os medidores eletromecânicos e eletrônicos respectivamente.

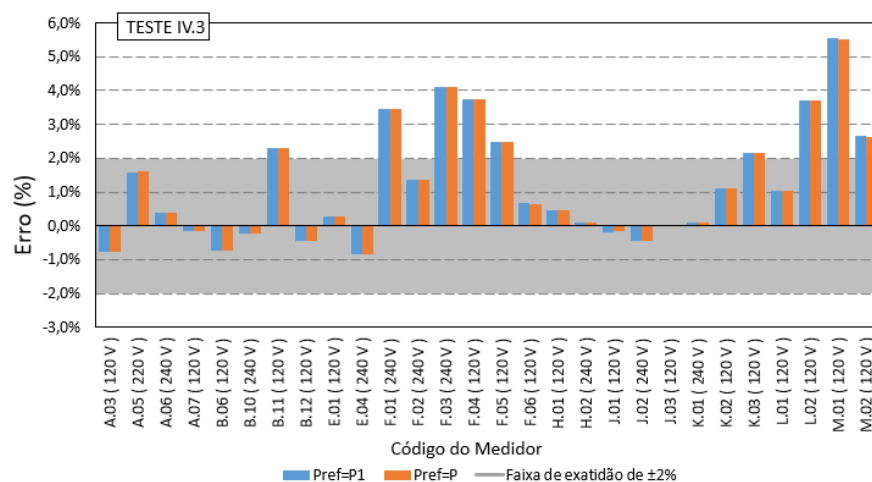


Figura 55 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste IV.3.

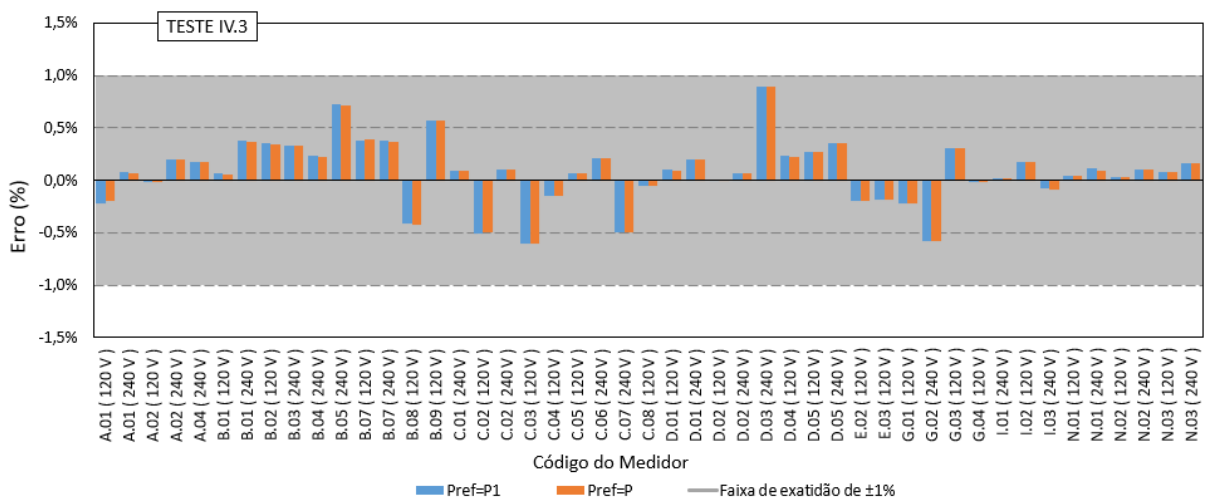


Figura 56 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste IV.3.

Pelos resultados mais uma vez nota-se que, quando tomada como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), um total de 9 dos 28 medidores eletromecânicos ficaram fora da faixa de exatidão, novamente com a maior amplitude registrada para o medidor M.01 em torno de

5,53%. Em relação aos medidores eletrônicos, novamente não houve nenhum desvio significativo que violasse a faixa de exatidão.

Diante dos resultados dos testes do Módulo IV é possível concluir mais uma vez que os desvios são parecidos quando tomados como referência  $P_1$  ou  $P$ , da mesma forma que ocorreu com os resultados dos Módulos I, II e III. Isso ocorre pois em todos os testes realizados até agora não foi utilizada nenhuma forma de onda que resultasse em uma potência harmônica ( $P_h$ ) diferente de zero.

### 4.3.5 Módulo V – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem – Fluxo Fonte/Carga

Agora, diferente dos testes realizados até então, o Módulo V consiste na aplicação de ordens harmônicas de mesma ordem, sendo assim, será possível ver o efeito da potência harmônica ( $P_h$ ) nos resultados dos desvios de medição.

#### 4.3.5.1 Teste V.1 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica resistiva) – Fluxo Fonte/Carga

O teste V.1 utiliza 5ª e 7ª ordens harmônicas, ambas com amplitude de 7% na tensão, e na corrente também 5ª e 7ª ordens com amplitudes de 40 e 30%, respectivamente e com o ângulo de fase resistivo de modo a resultar um  $P_h$  com sentido de fluxo da fonte para a carga, ou seja, positivo. Os resultados para os medidores eletromecânicos e eletrônicos são mostrados pelas Figuras 57 e 58, respectivamente.

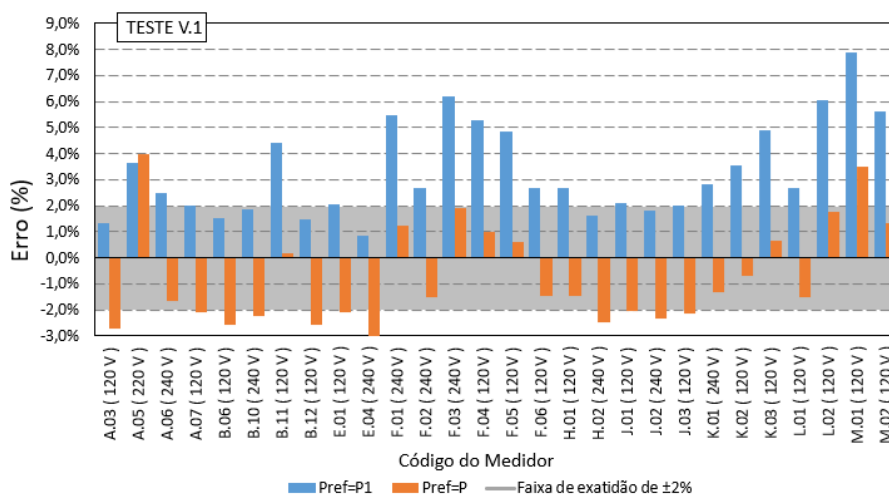


Figura 57 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste V.1.

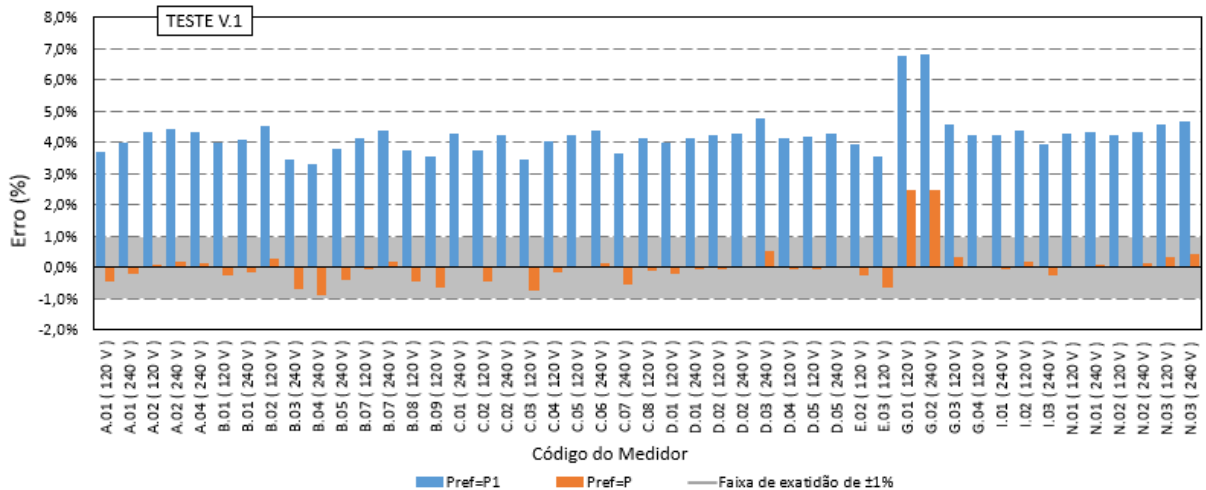


Figura 58 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste V.1.

Agora é possível ver que a componente de potência harmônica ( $P_h$ ) possui grande influência nos resultados dos testes. Tomando como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), um total de 20 dos 28 medidores eletromecânicos ficaram fora da faixa de exatidão (71% do total) com amplitudes de quase 8%, enquanto que a totalidade de medidores eletrônicos ficaram fora da mesma, com amplitudes que chegaram a quase 7%.

Tomando como referência a potência total ( $P$ ), 13 dos 28 medidores eletromecânicos ficaram fora da faixa de exatidão (46% do total) com amplitudes de até 4%, enquanto que apenas 2 medidores eletrônicos ficaram fora da mesma, com amplitudes menos significativas.

Nota-se que, quando tomada a potência fundamental como referência, todos os desvios registrados foram positivos, ou seja, os medidores registraram a mais do que a potência fundamental. Esse fato ocorre porque o  $P_h$  possui valor positivo, uma vez que este se dá no sentido da fonte para a carga, influenciando assim no resultado dos testes.

#### 4.3.5.2 Teste V.2 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica indutiva) – Fluxo Fonte/Carga

O teste V.2 consiste na aplicação das mesmas ordens harmônicas que o teste V.I e também com o sentido do  $P_h$  da fonte para a carga, porém agora com os ângulos de fase resultando em harmônicas indutivas. Os resultados para medidores eletrônicos e eletromecânicos podem ser vistos pelas Figuras 59 e 60, respectivamente.

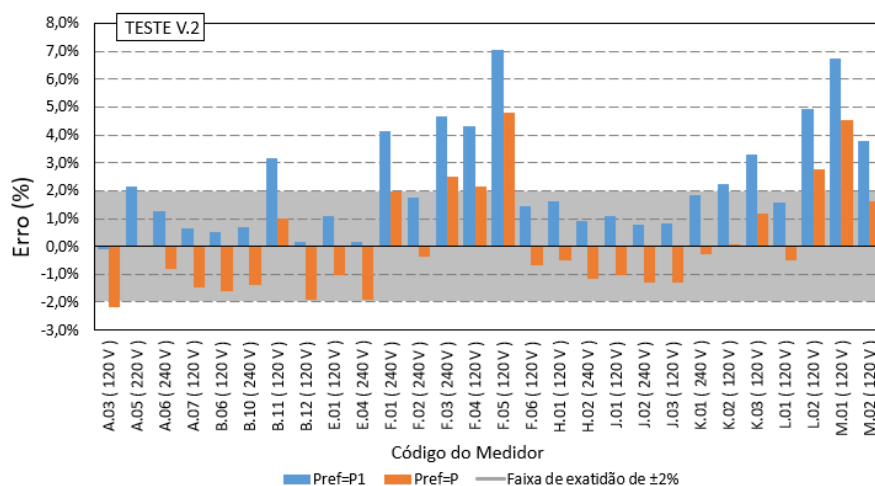


Figura 59 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste V.2.

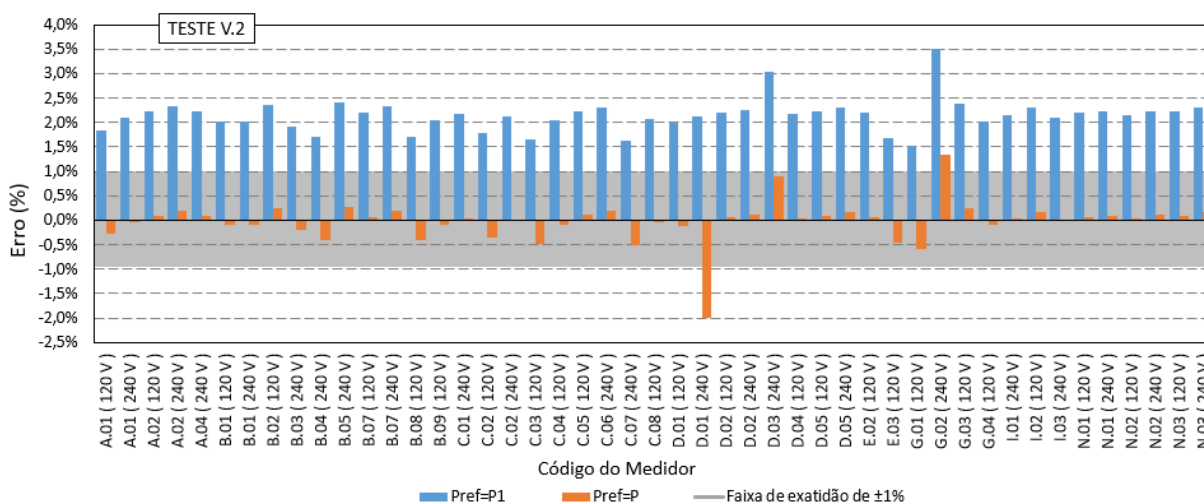


Figura 60 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste V.2.

Mais uma vez foi possível notar grandes desvios. Quando tomado como referência  $P_1$ , 11 dos 28 medidores eletromecânicos (39% do total) apresentaram desvios fora da faixa de exatidão, todos positivos, com desvios registrados para alguns medidores (F.05 e M.01) da ordem de quase 7%. Novamente todos os medidores eletrônicos ficaram fora da faixa de exatidão, com registros da ordem de 3,5%.

Com a potência total ( $P$ ) como referência, os resultados foram menos significativos, sendo que apenas 6 medidores eletromecânicos (21% do total) e 2 medidores eletrônicos (4% do total) ficaram fora da faixa de exatidão.

### 4.3.5.3 Teste V.3 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica capacitiva) – Fluxo Fonte/Carga

O teste V.3 é semelhante aos testes V.1 e V.2, porém este utiliza harmônicas capacitivas. Os resultados para medidores eletromecânicos e eletrônicos podem ser vistos pelas Figuras 61 e 62, respectivamente.

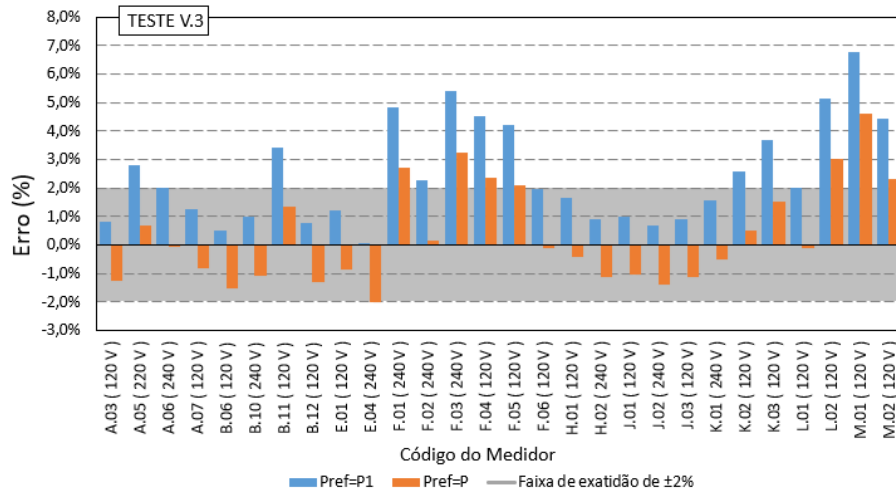


Figura 61 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste V.3.

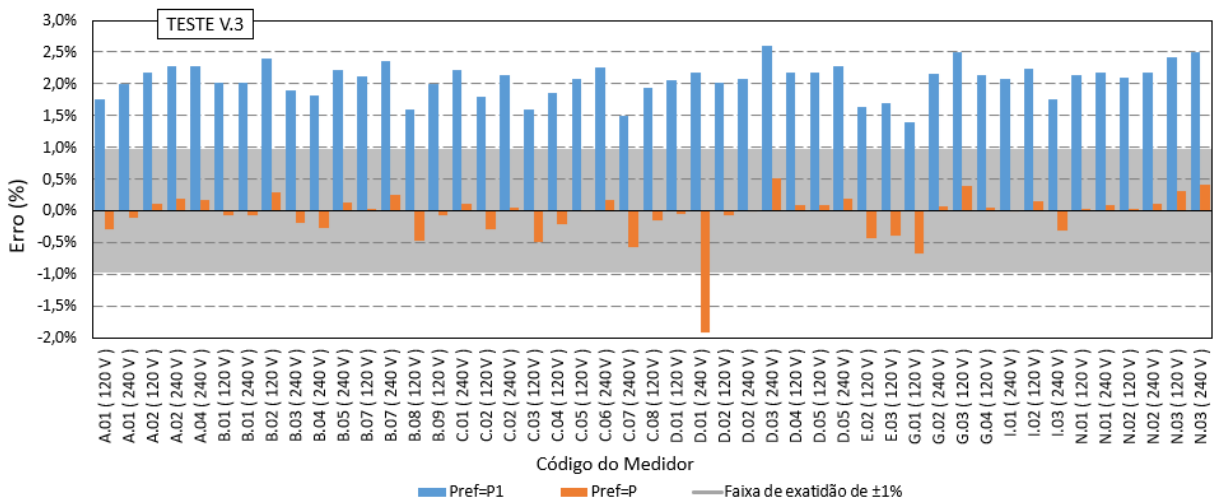


Figura 62 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste V.3.

Como resultado, utilizando  $P_1$  como referência, 13 medidores eletromecânicos (46% do total) e todos os medidores eletrônicos ficaram fora da faixa de exatidão, todos com erros positivos.

Quando utilizada a potência total ( $P$ ) como referência, 8 medidores eletromecânicos (29% do total) e apenas 1 eletrônico (2% do total) ficaram fora da faixa de exatidão.

Pelos resultados apresentados por este Módulo foi possível ver que, quando submetidos a uma forma de onda cujo fluxo harmônico é dado em direção da fonte para a carga, os medidores de energia apresentam desvios significativos, todos positivos quando comparados com a potência fundamental. Quando comparados com a potência total os desvios são menores. Sendo assim, observa-se que nesse caso os medidores tendem a medir a potência total ( $P$ ) e não a fundamental ( $P_1$ ).

### 4.3.6 Módulo VI – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem – Fluxo Carga/Fonte

O Módulo VI é feito igual ao Módulo V, com mesmas ordens e amplitudes harmônicas, porém o sentido do fluxo harmônico dessa vez se dá da carga para a fonte, resultando assim em um  $P_h$  negativo.

#### 4.3.6.1 Teste VI.1 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica resistiva) – Fluxo Carga/Fonte

Os resultados para o circuito resistivo são mostrados pelas Figuras 63 e 64 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

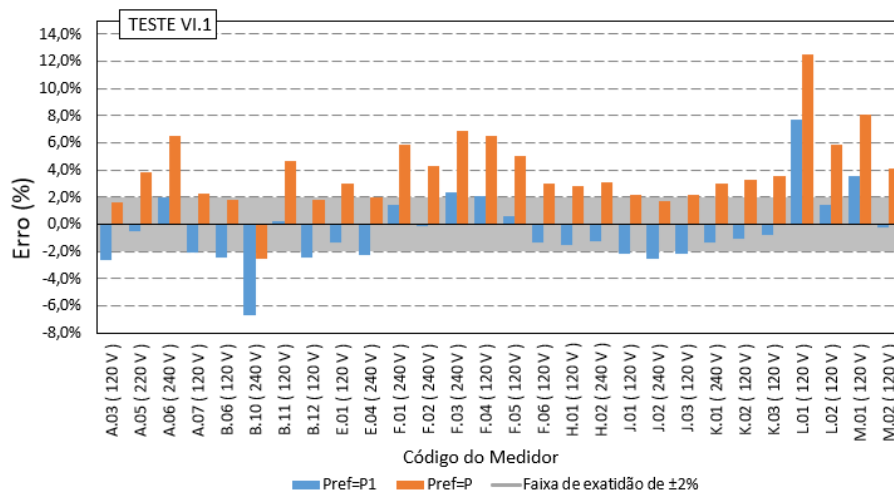


Figura 63 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VI.1.

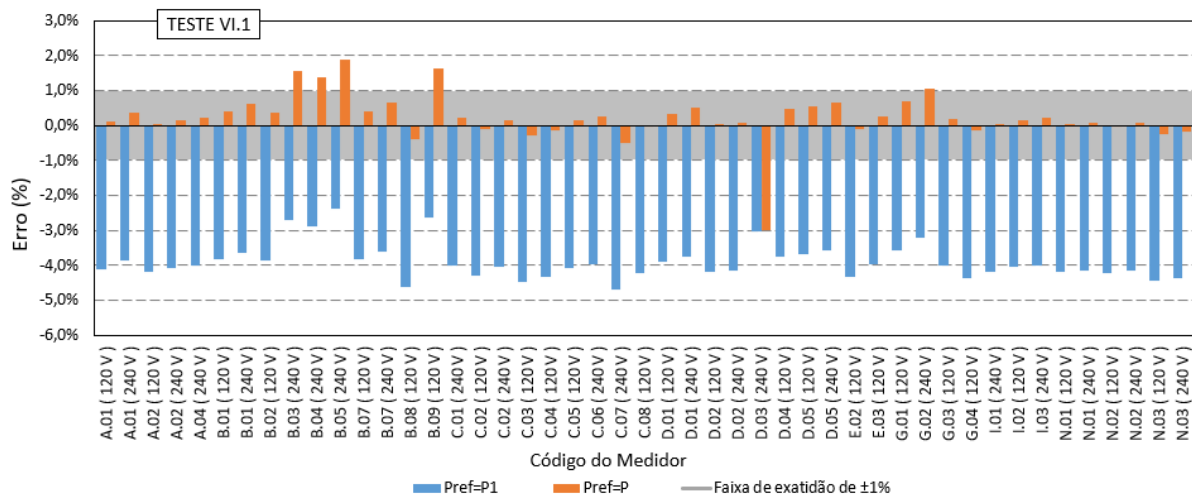


Figura 64 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VI.1.

Pelos resultados observa-se que, tomando como referência a potência fundamental, 14 medidores eletromecânicos (50% do total) e todos os medidores eletrônicos ficaram fora da faixa de exatidão, dessa vez todos com erros negativos.

De maneira análoga, tomando como referência a potência total, 24 medidores eletromecânicos (86% do total) e 6 medidores eletrônicos (13% do total) ficaram fora da faixa de exatidão.

Nota-se que, diferente dos testes do Módulo V, agora os erros ficaram, de maneira geral, negativos. Esse fato está associado ao sentido do fluxo  $P_h$  conforme será explicado adiante.

#### 4.3.6.2 Teste VI.2 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica indutiva) – Fluxo Carga/Fonte

Os resultados para as harmônicas indutivas são mostrados pelas Figuras 65 e 66 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

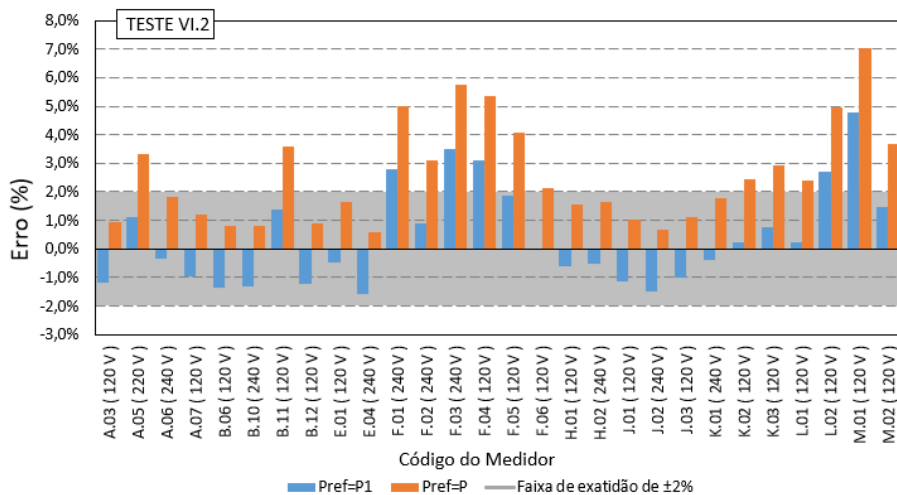


Figura 65 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VI.2.

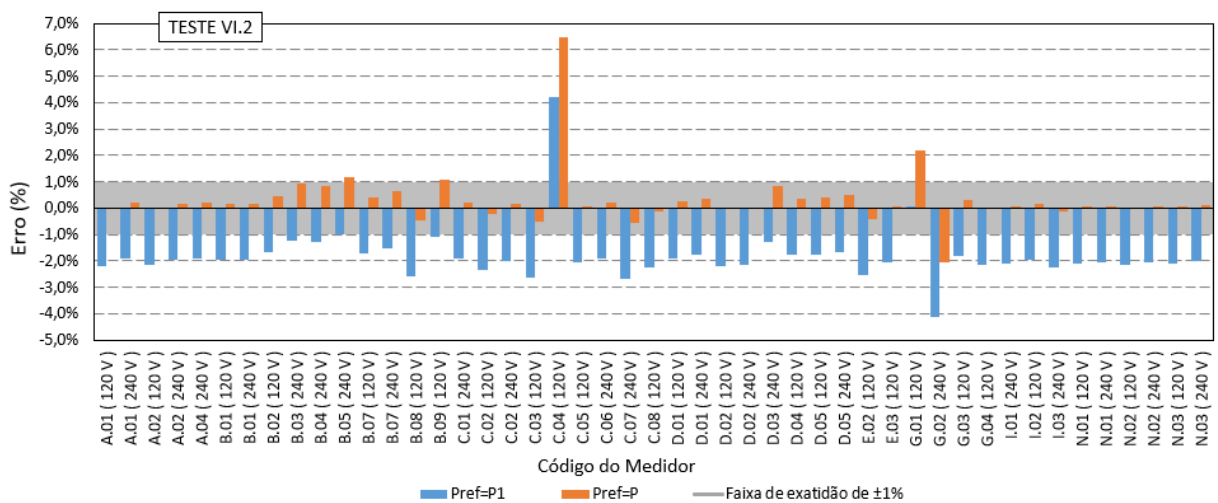


Figura 66 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VI.2.

Em síntese, tomando como referência  $P_1$ , 5 medidores eletromecânicos (18% do total) e 45 medidores eletrônicos (86% do total) ficaram fora da faixa de exatidão enquanto que, se tomada como referência a potência total ( $P$ ), 14 medidores eletromecânicos (50% do total) e 5 medidores eletrônicos (11% do total) ficaram fora da mesma faixa.

Nota-se um fato curioso que, mesmo o sentido do harmônico sendo da carga para a fonte, o medidor C.04 registrou um valor acima da faixa de precisão, fato esse que não ocorreu no teste VI.I, mais uma vez comprovando a total falta de isonomia para a medição de energia para os medidores eletrônicos.



### 4.3.6.3 Teste VI.3 – Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica capacitiva) – Fluxo Carga/Fonte

Os resultados para as harmônicas capacitivas são mostrados pelas Figuras 67 e 68 para medidores eletrônicos e eletromecânicos, respectivamente.

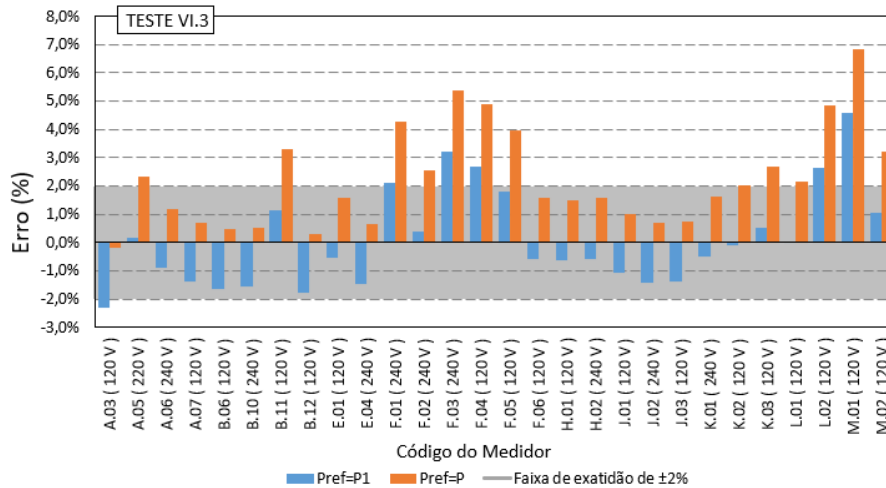


Figura 67 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VI.3.

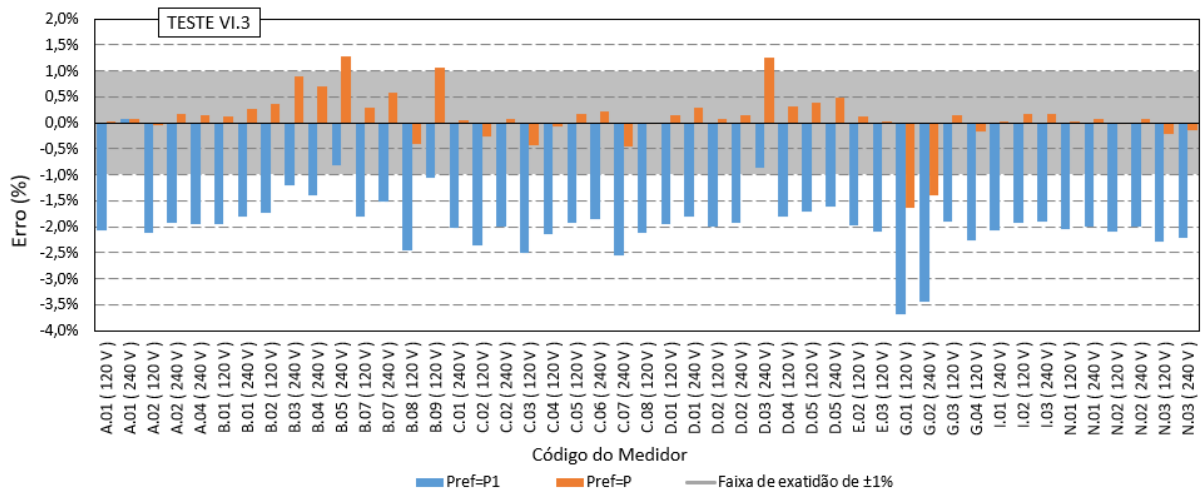


Figura 68 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VI.3.

Os resultados mostram que, tomando como referência  $P_1$ , 6 medidores eletromecânicos (21% do total) e 44 medidores eletrônicos (94% do total) ficaram fora da faixa de exatidão. Novamente observa-se erros positivos para os medidores eletrônicos, mesmo quando aplicado um  $P_h$  negativo. Já para os medidores eletrônicos, todos que apresentaram os erros que ficaram fora da faixa de exatidão foram negativos, inclusive o do medidor C.04 que apresentou um erro positivo no teste VI.2, mostrando mais uma vez que não há isonomia nenhuma na medição de potência ativa.

De maneira análoga, quando a potência total ( $P$ ) é tomada como referência, 13 medidores eletromecânicos (46% do total) e apenas 5 eletrônicos (11% do total) ficam fora da mesma faixa.

De forma geral, o Módulo VI apresentou na maior parte dos resultados valores de erros negativos quando a potência fundamental é tomada como referência. Fato este que já era de se esperar, uma vez que é utilizado um valor de  $P_h$  negativo, ou seja, com sentido de fluxo da carga para a fonte.

#### **4.3.7 Módulo VII – Tensões e correntes distorcidas – sinais característicos**

O Módulo VII consiste na realização de diversos testes, sendo que alguns deles inclusive apresentam resultados de grandezas normativas. Importante destacar que os testes da NBR aqui utilizados (teste VII.1, VII.2, VII.3) tiveram como base [18], porém foram realizadas algumas modificações devido a questões laboratoriais, como será explicado adiante. Sendo assim o objetivo não é reproduzir de maneira análoga o tratamento feito na norma, mas sim apenas a utilização como base de algumas formas de onda lá utilizadas. Além disso, na norma, para alguns testes específicos, são utilizados alguns valores percentuais para o erro admissível que são diferentes da faixa de exatidão dos medidores, porém, todos os testes realizados no âmbito deste trabalho serão comparados com as respectivas classes de exatidão de cada medidor.

##### **4.3.7.1 Teste VII.1 - NBR 14520 (5.7.3) – Determinação de $e1$**

O primeiro teste da NBR consiste na aplicação de tensões e correntes fundamentais e em fase, sendo utilizada uma amplitude de 100% para a tensão fundamental e 50% da corrente máxima para a corrente fundamental, porém, devido à limitação da fonte utilizada nos testes (fonte de potência programável CMC 256 Plus), aqui será aplicada uma amplitude de 50% da corrente nominal. Os resultados para medidores eletromecânicos e eletrônicos podem ser vistos pelas Figuras 69 e 70, respectivamente.

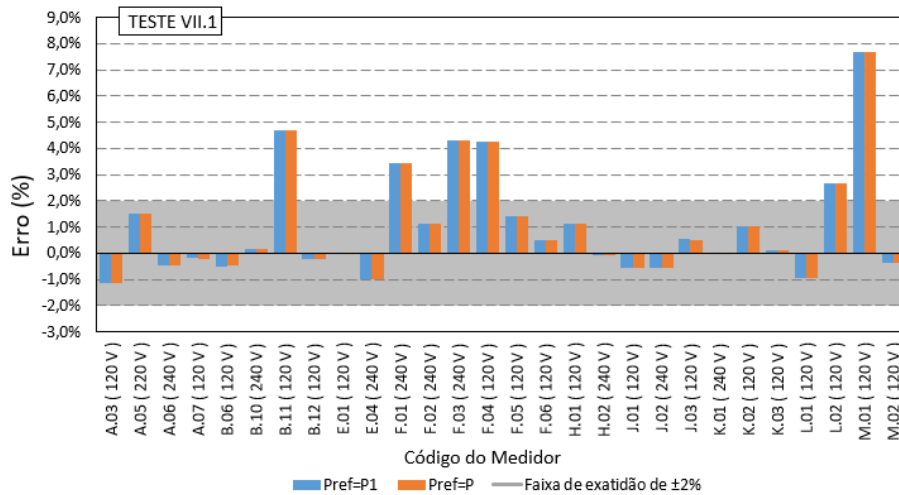


Figura 69 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.1.

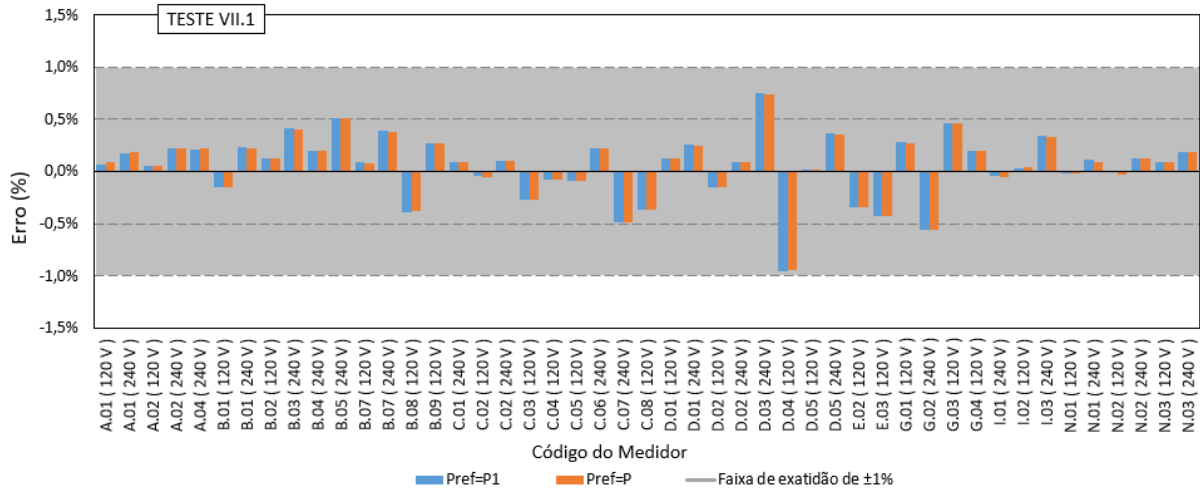


Figura 70 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.1.

Os resultados mostram que, tomando como referência  $P_1$  ou  $P$ , 6 medidores eletromecânicos (21% do total) ficaram fora da faixa de exatidão, enquanto nenhum medidor eletrônico ficou fora da mesma.

#### 4.3.7.2 Teste VII.2 - NBR 14520 (5.7.3)

Após o teste VII.1, mantendo as componentes de frequência fundamental iguais, agora são aplicadas ordens harmônicas de 5ª ordem com amplitudes de 10 e 20% na tensão e corrente, respectivamente. Os resultados são apresentados pelas Figuras 71 e 72, respectivamente.

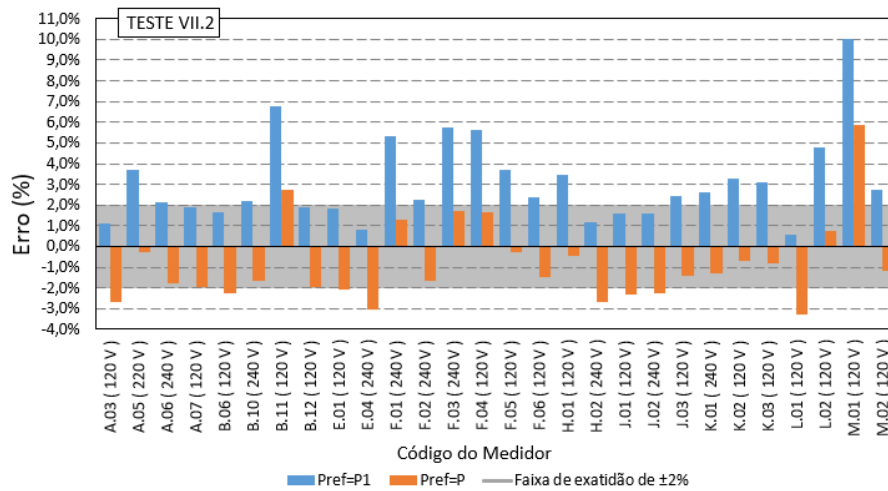


Figura 71 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.2.

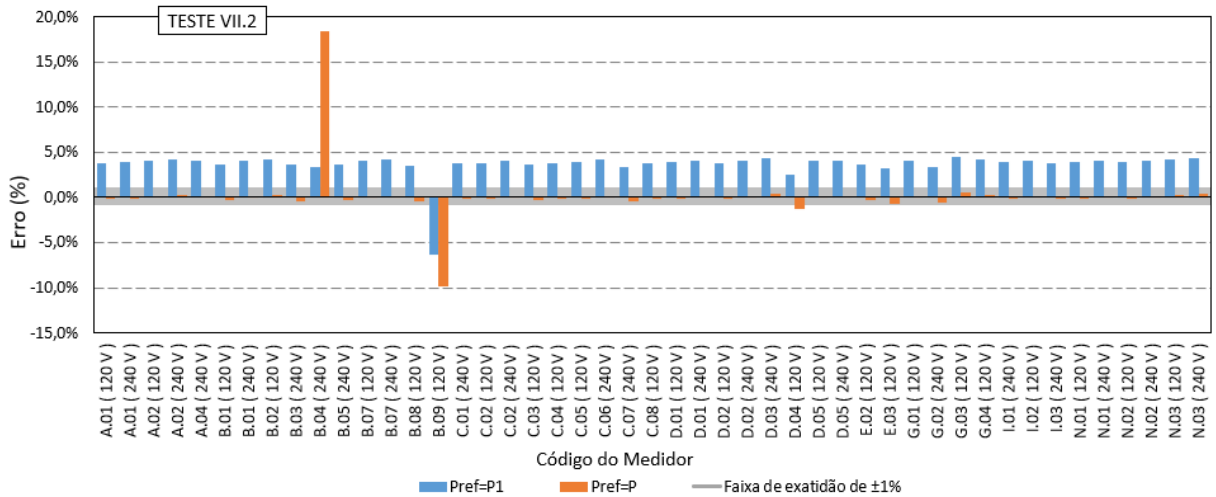


Figura 72 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.2.

Nota-se, tomando a potência fundamental ( $P_1$ ) como referência, um total de 18 medidores eletromecânicos (64% do total) ficaram fora da faixa de exatidão, com um desvio de 10,05% para o medidor M.01. Em relação aos medidores eletrônicos, todos eles ficaram fora da faixa de exatidão.

Tomando a potência total como referência houve um total de 10 medidores eletromecânicos (36% do total) e apenas 3 medidores eletrônicos (6% do total) fora da faixa de exatidão, porém com um desvio de 18,42% para o medidor B.04 seguido de um desvio de -9,86% para o medidor B.09.

### 4.3.7.3 Teste VII.3 - NBR 14520 (5.7.4)

O teste VII.3 consiste na aplicação de componentes fundamentais nominais e em fase com a aplicação de harmônicas de ordem 3 com amplitudes de 0,90 e 10% na tensão e corrente, respectivamente. Os resultados são mostrados pelas Figuras 73 e 74, respectivamente.

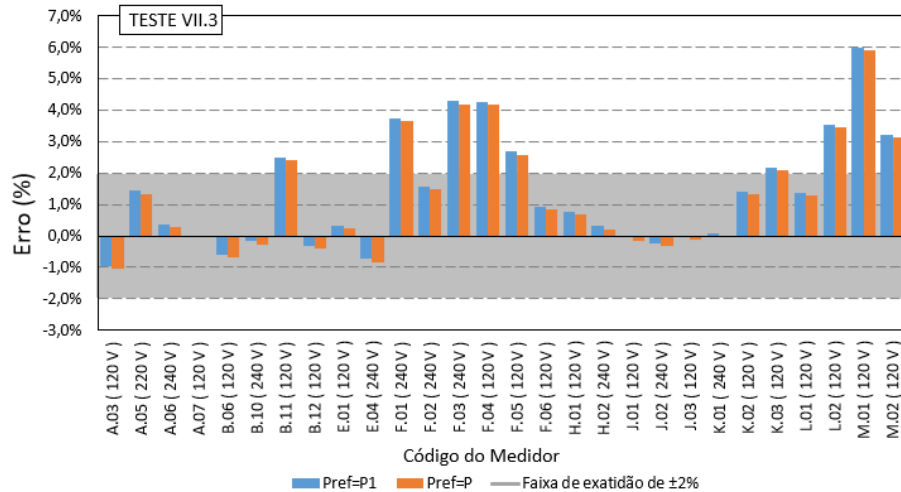


Figura 73 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.3.

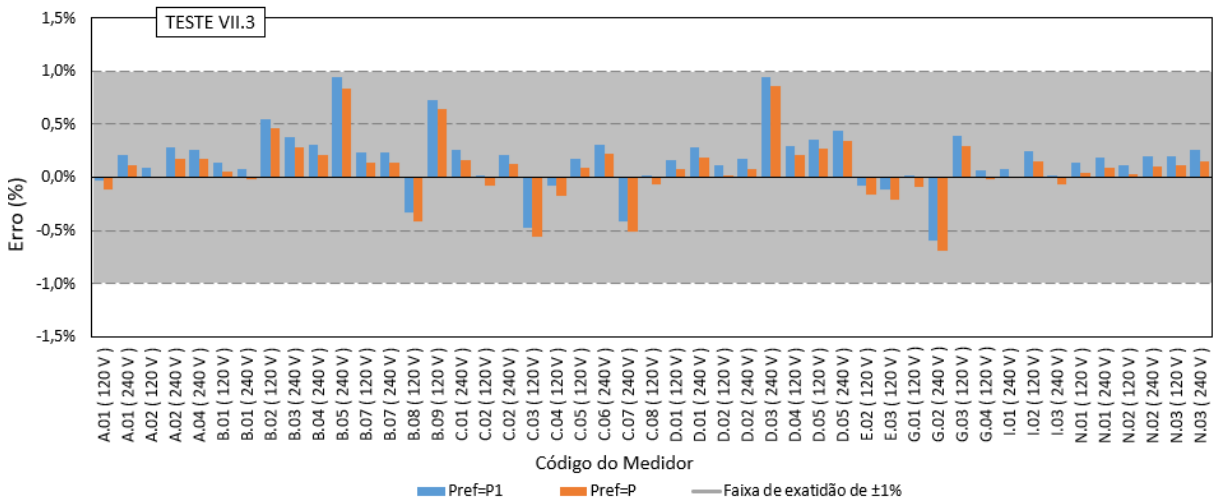


Figura 74 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.3.

Os resultados mostram um total de 9 medidores eletromecânicos (32% do total) fora da faixa de exatidão com desvios de até 6,00% para o medidor M.01, enquanto que a totalidade dos medidores eletrônicos ficaram dentro da mesma.

### 4.3.7.4 Teste VII.4 - Espectro tipicamente residencial

O teste VII.4 consiste na aplicação de um espectro de tensão e corrente que foram obtidas através de medições em residências e representam bem o comportamento dessa classe

de consumo. Os resultados se encontram nas Figuras 75 e 76 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

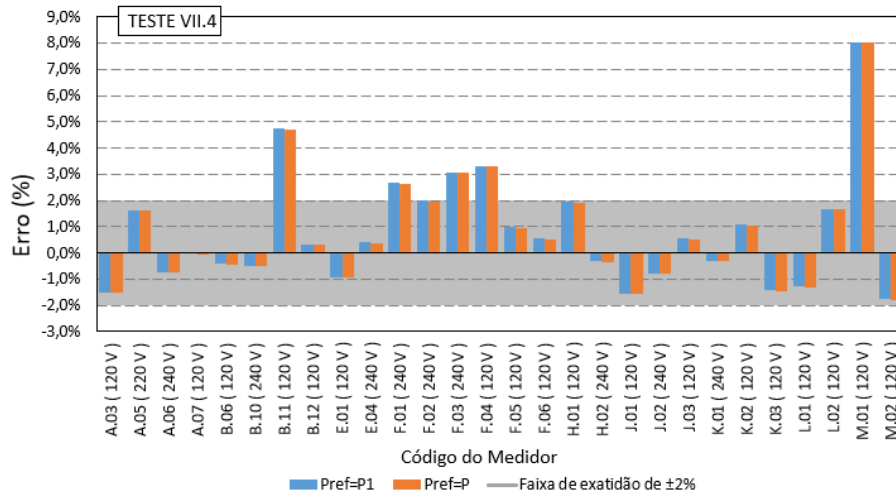


Figura 75 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.4.

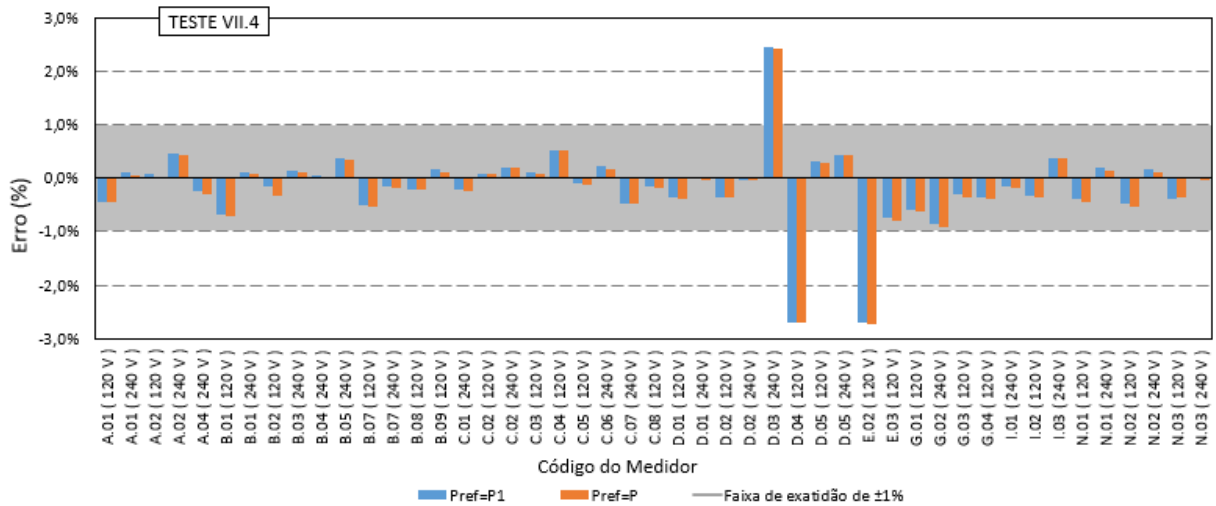


Figura 76 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.4.

Quando tomada como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), observa-se que um total de 5 medidores eletromecânicos (18% do total) e 3 medidores eletrônicos (6% do total) ficaram fora da faixa de exatidão. Novamente o maior desvio encontrado para os medidores eletromecânicos foi para o medidor M.01 com um valor de 8,02% e de 2,69% para os medidores eletrônicos D.04 e E.02.

### 4.3.7.5 Teste VII.5 - Retificador de meia-onda com tensão senoidal

O teste VII.5 apresenta os resultados para a aplicação de formas de onda características de um retificador de meia onda. Os resultados para os medidores eletromecânicos e eletrônicos são mostrados pelas Figuras 77 e 78, respectivamente.

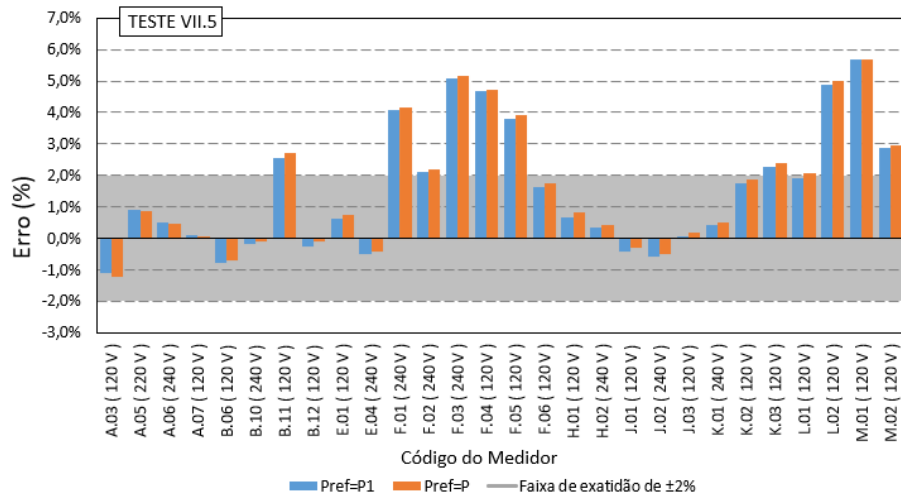


Figura 77 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.5.

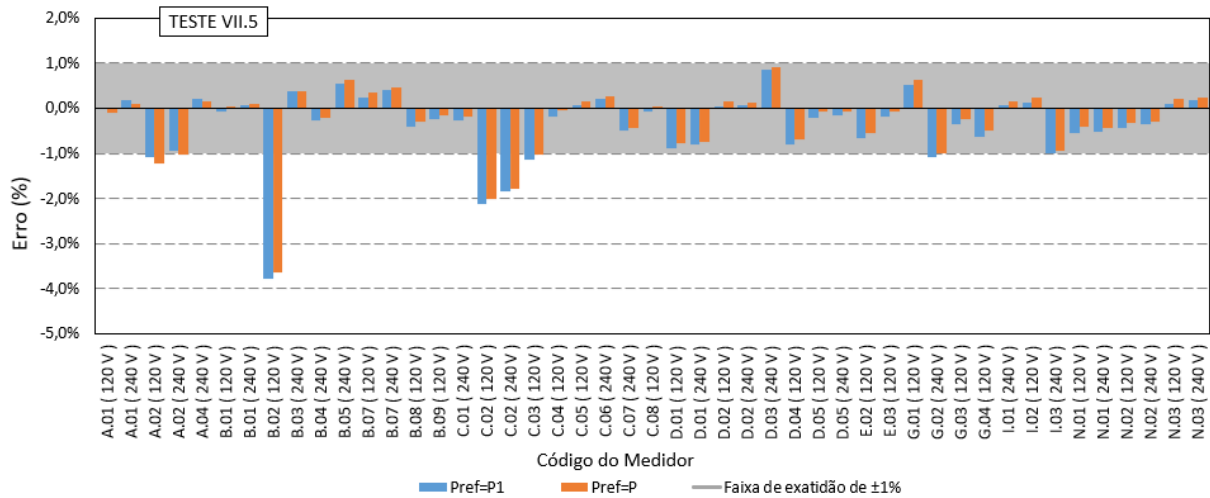


Figura 78 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.5.

Nota-se que, tomando como referência ( $P_1$ ), um total de 10 medidores eletromecânicos (36% do total) e 6 eletrônicos (13% do total) ficaram fora da faixa de exatidão. Com relação aos medidores eletromecânicos, novamente o maior desvio de 5,68% foi registrado para o medidor M.01 e para os medidores eletrônicos foi para o medidor B.02 de -3,77%.

### 4.3.7.6 Teste VII.6 - Circuito *dimmer* com disparo em 90°

Os testes de 6 a 9 deste Módulo utilizam como base as formas de onda utilizadas por [6]. Para o teste VII.6 foram utilizadas formas de onda típicas de um *dimmer* com disparo em 90°. Os resultados para medidores eletromecânicos e eletrônicos são mostrados pelas Figuras 79 e 80 respectivamente.

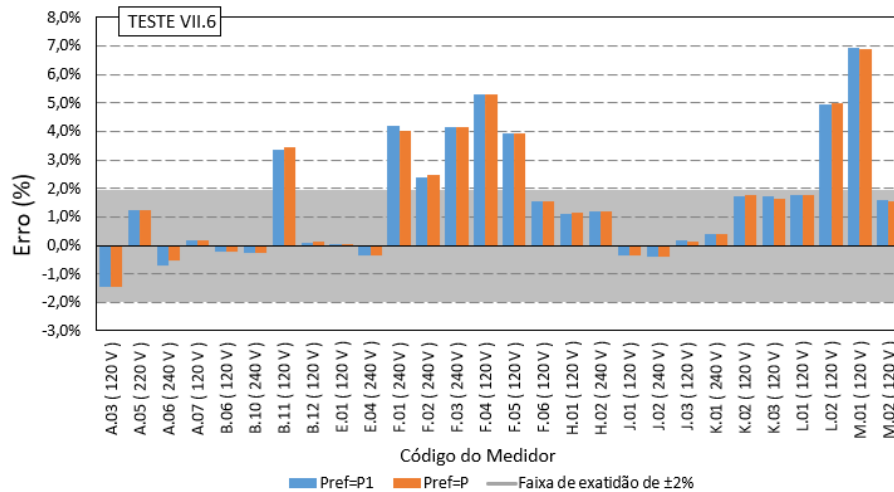


Figura 79 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.6.

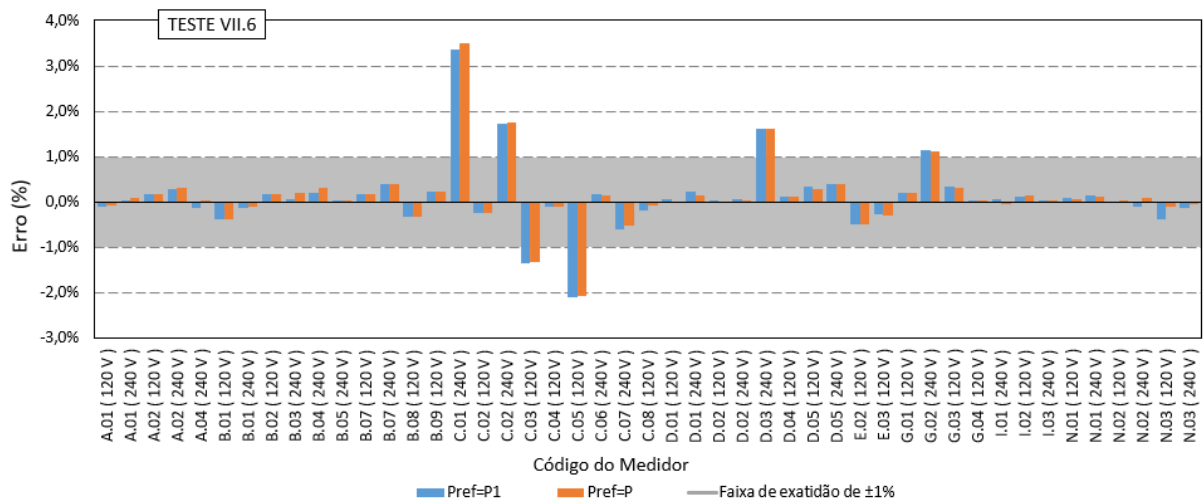


Figura 80 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.6.

Observa-se que, tomando como referência ( $P_1$ ), um total de 10 medidores eletromecânicos (36% do total) ficaram fora da faixa de exatidão registrando o maior desvio novamente para o medidor M.01 de 5,68%. Em relação aos medidores eletrônicos, apenas 6 (13% do total) apresentaram desvios fora da faixa de exatidão, com amplitudes de até 3,36% para o medidor C.01.



### 4.3.7.7 Teste VII.7 - Circuito *dimmer* com disparo em 135°

O teste VII.7 também representa as formas de onda de um *dimmer*, mas agora com o disparo em 135°. Os resultados são mostrados pelas Figuras 81 e 82, respectivamente.

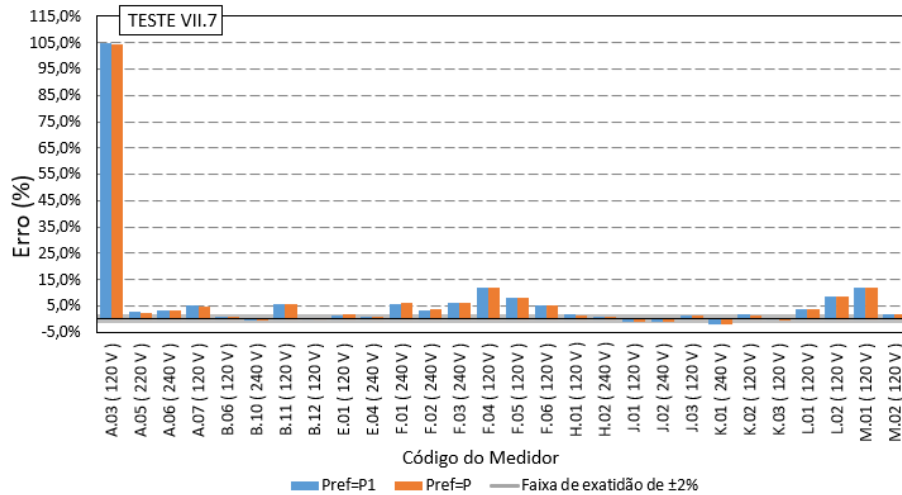


Figura 81 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.7.

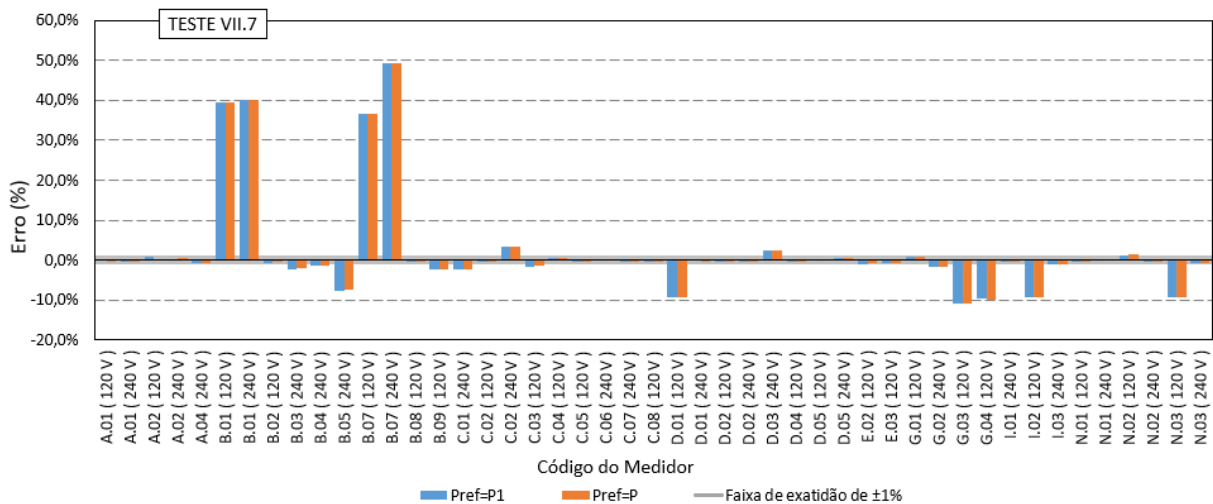


Figura 82 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.7.

Tomando como referência ( $P_1$ ), os resultados mostram um total de 15 medidores eletromecânicos (54% do total) e 19 eletrônicos (40% do total) fora da faixa de exatidão, porém, o fato mais preocupando são as amplitudes dos desvios apresentadas. O medidor eletromecânico A.03 registrou um desvio de 104,81%. Quanto aos medidores eletrônicos, o medidor multitensão B.01 apresentou desvios da ordem de 40% para ambas as tensões. O outro medidor eletrônico que também apresentou grande desvio também é multitensão, porém, a ordem de grandeza dos desvios foi diferente de acordo com a tensão aplicada, registrando um

desvio da ordem de 36,70% quando aplicada a tensão de 120V e de 49,37%, quando aplicada a tensão de 240V.

### 4.3.7.8 Teste VII.8 - Circuito *dimmer* com disparo em 90° + conjunto de lâmpadas

Neste teste foi utilizado o circuito *dimmer* com disparo em 90° com um conjunto de lâmpadas, conforme Figuras 83 e 84.

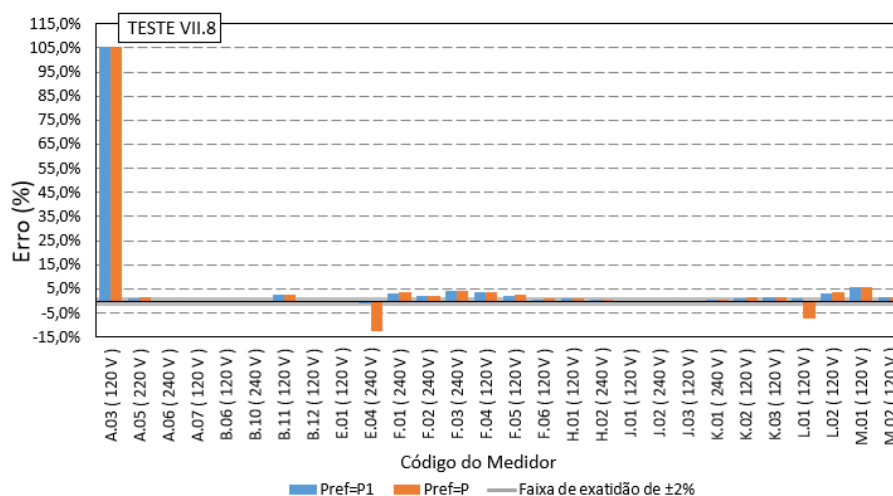


Figura 83 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.8.

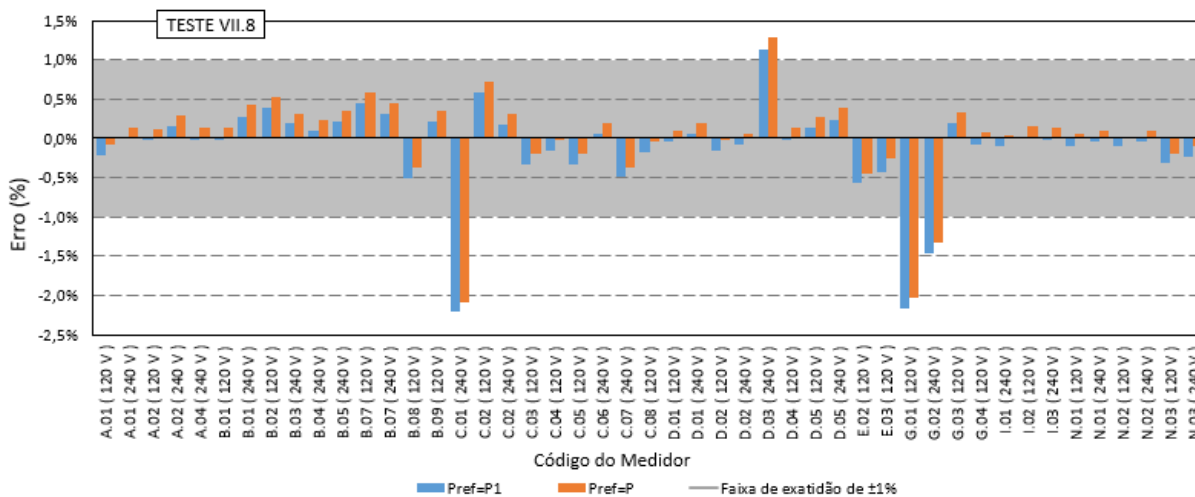


Figura 84 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.8.

Observa-se que, tomando como referência  $P_1$ , 8 medidores eletromecânicos (29% do total) e 4 eletrônicos (9% do total) ficaram fora da faixa de exatidão. Mais uma vez o que chama atenção é a amplitude registrada para o medidor eletromecânico A.03 de 105,27%.

### 4.3.7.9 Teste VII.9 - Circuito *dimmer* com disparo em 135° + conjunto de lâmpadas

Neste teste foi utilizado o circuito *dimmer* com disparo em 135° com um conjunto de lâmpadas. Os resultados para medidores eletromecânicos e eletrônicos são mostrados pelas Figuras 85 e 86, respectivamente.

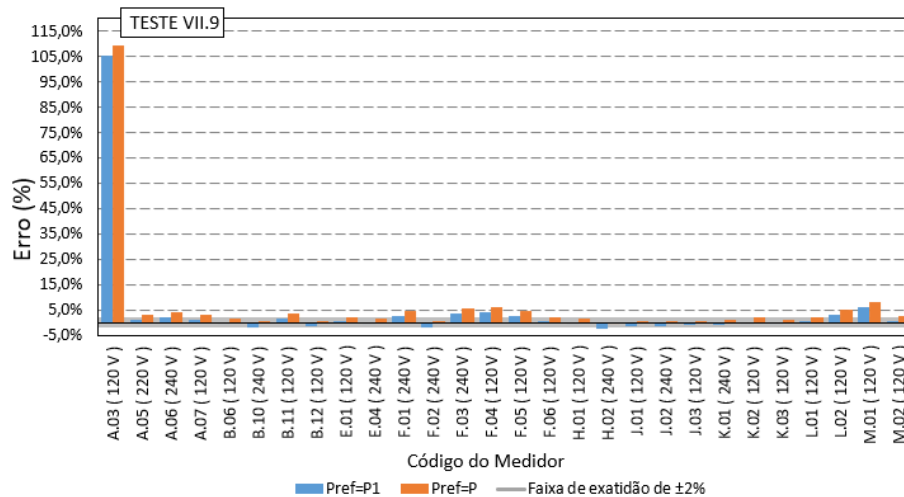


Figura 85 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VII.9.

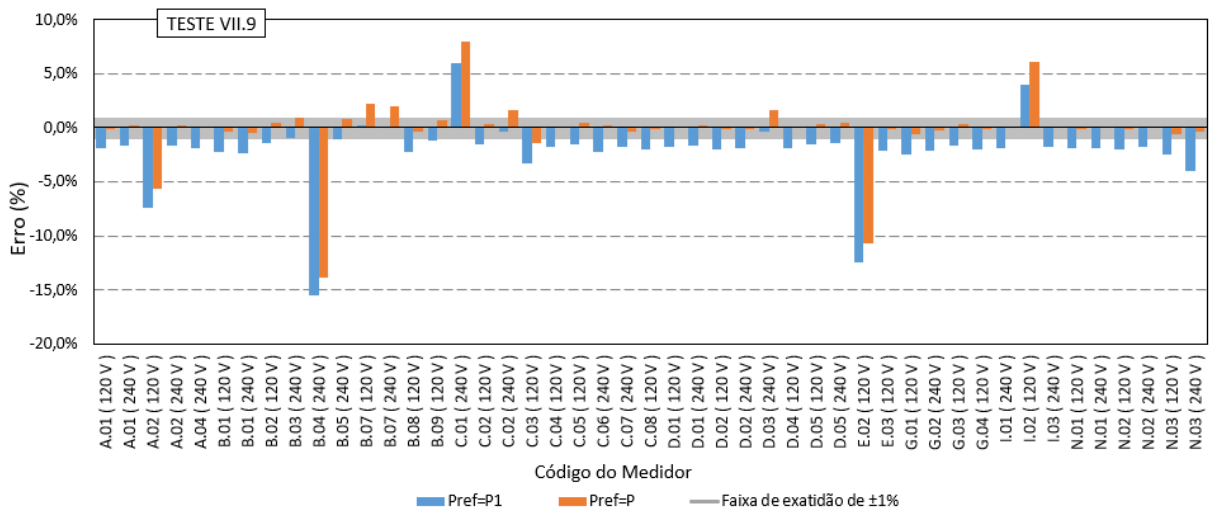


Figura 86 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VII.9.

Pelos resultados nota-se que, tomando como referência  $P_1$ , 9 medidores eletromecânicos (32% do total) e 42 eletrônicos (89% do total) ficaram fora da faixa de exatidão. Novamente houve um resultado bastante significativo com um desvio de 105,29% para o medidor eletromecânicos A.03. Quanto aos medidores eletrônicos, foram registrados desvios de até -15,53%.

### 4.3.8 Módulo VIII – Circuito trifásico desequilibrado

Este módulo apresenta os testes para os medidores trifásicos e, agora, os testes são feitos aplicando tensão e corrente em todas as fases dos medidores. Mais uma vez, cumpre destacar que os testes da NBR utilizados nesse módulo (teste VIII.4 e VIII.5) tiveram como base [18], porém novamente não foi realizado o tratamento análogo ao da norma.

#### 4.3.8.1 Teste VIII.1 - Circuito trifásico desequilibrado (sem harmônicas)

O teste VIII.1 é realizado com tensões e correntes senoidais com um fator de desequilíbrio de 5,80%. Os resultados são mostrados pelas Figuras 87 e 88 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

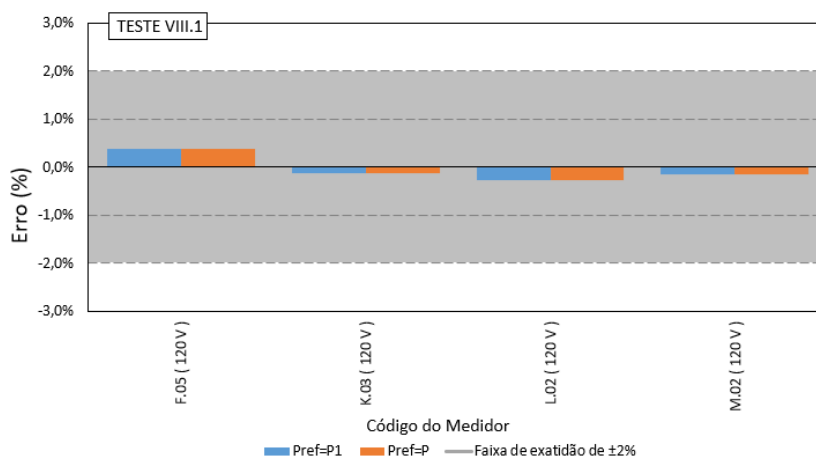


Figura 87 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VIII.1.

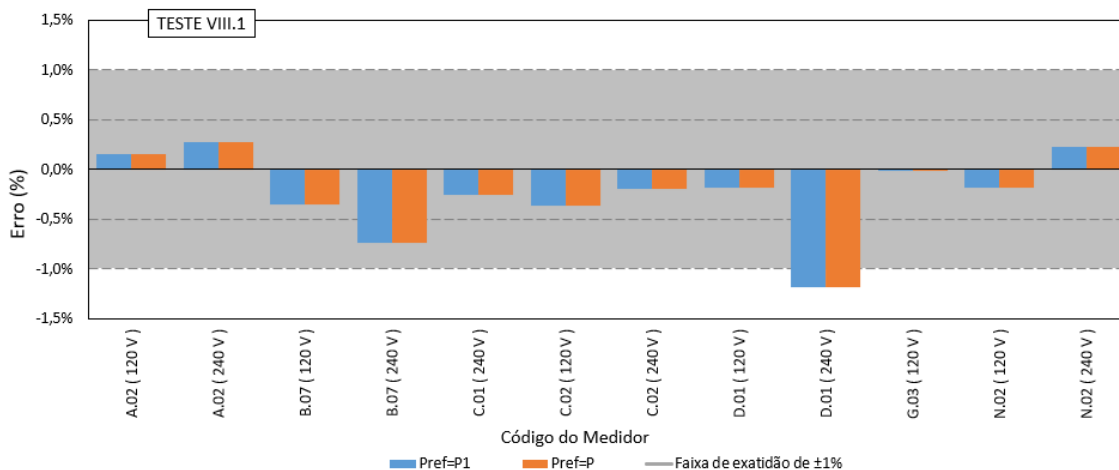


Figura 88 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VIII.1.

Neste caso não são verificados erros significativos. Quando tomada como referência a potência fundamental ( $P_1$ ), apenas o medidor eletrônico D.01 ficou fora da faixa de exatidão com um desvio de -1,19%.

Como era de se esperar, os resultados considerando a potência total foram muito semelhantes, uma vez que não há a utilização de potência harmônica nesse teste.

### 4.3.8.2 Teste VIII.2 - Circuito trifásico desequilibrado (sem harmônicas – falta de fase)

Agora, para o teste VIII.2, foram aplicadas correntes em apenas duas fases. Os resultados se encontram nas Figuras 89 e 90 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

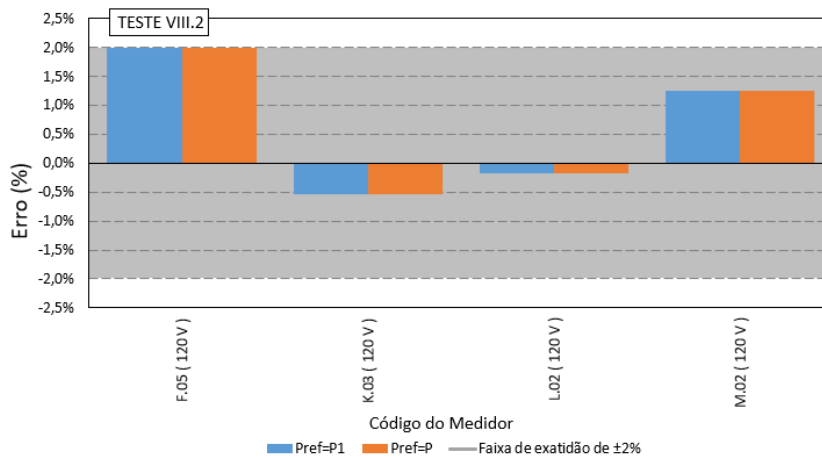


Figura 89 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VIII.2.

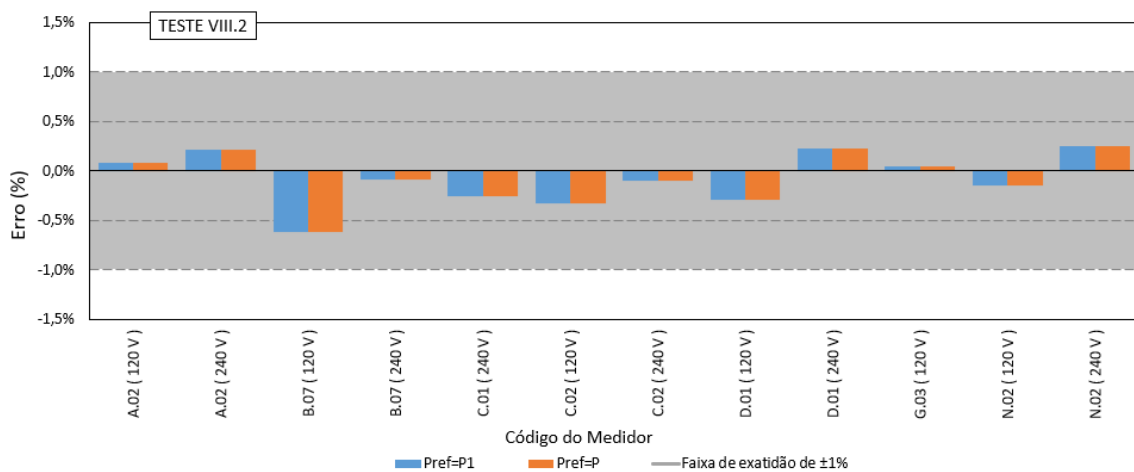


Figura 90 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VIII.2.

Os resultados mostram que nenhum medidor ficou fora da faixa de exatidão e, além disso, mais uma vez os resultados tomando como referência  $P_1$  ou  $P$  foram semelhantes, uma vez que não está sendo utilizado  $P_h$  para a realização do teste.

### 4.3.8.3 Teste VIII.3 - Circuito trifásico desequilibrado (com harmônicas)

O teste VIII.3 utiliza de tensões e correntes fundamentais e harmônicas de mesma ordem distorcidas e desequilibradas. Os resultados são mostrados pelas Figuras 91 e 92 para medidores eletrônicos e eletromecânicos, respectivamente.

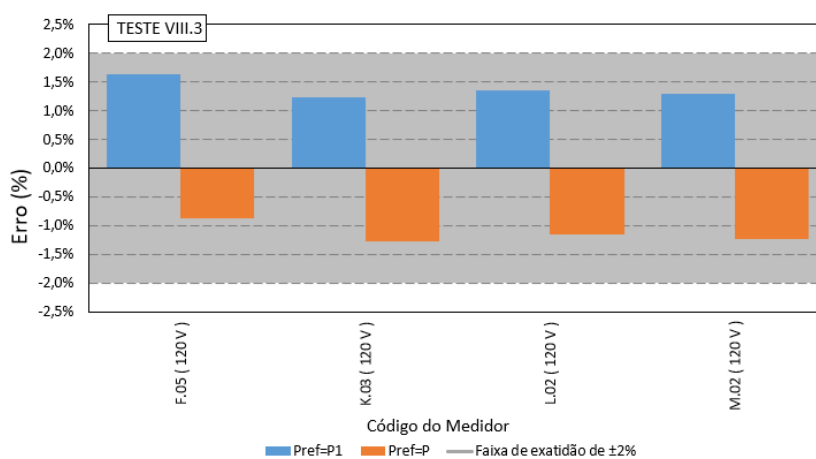


Figura 91 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VIII.3.

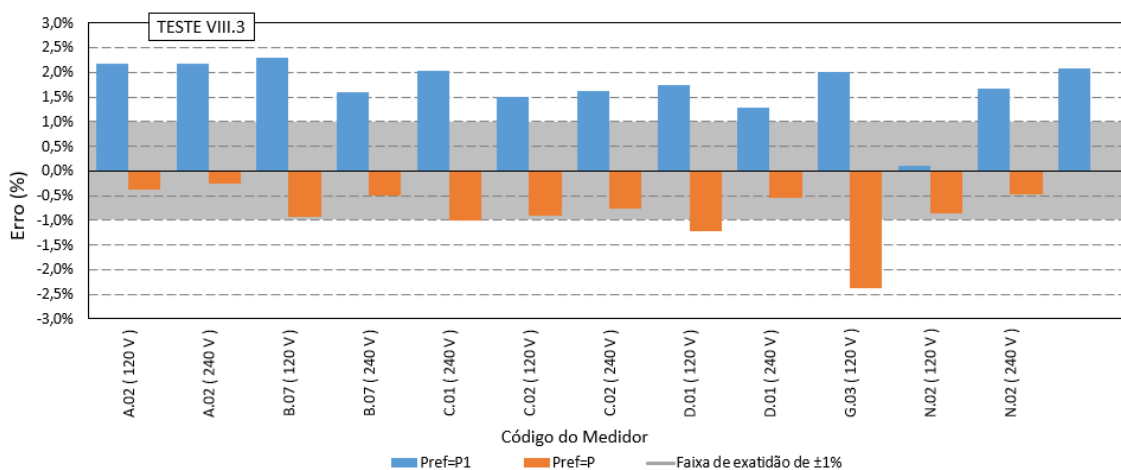


Figura 92 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VIII.3.

Os resultados mostram que nenhum medidor eletromecânico ficou fora da faixa de exatidão. Em relação aos eletrônicos, quando tomada como referência  $P_1$ , apenas um medidor ficou dentro da faixa de exatidão enquanto todos os outros apresentaram erros positivos.

Quando tomada como referência  $P$ , apenas um medidor eletrônico ficou fora da faixa de exatidão, apresentando um erro negativo.

Neste teste o valor do fluxo harmônico ( $P_h$ ) é diferente de zero, e mais uma vez é possível observar o seu efeito nos resultados, uma vez que há diferenças significativas entre os resultados quando tomada como referência a potência total e fundamental.

#### 4.3.8.4 Teste VIII.4 - Teste NBR 14520 (5.7.5) – Determinação de $eI$

Aqui são aplicadas tensão e corrente senoidais e equilibradas, porém utilizando uma amplitude de 10% para a corrente. Os resultados são mostrados pelas Figuras 93 e 94 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

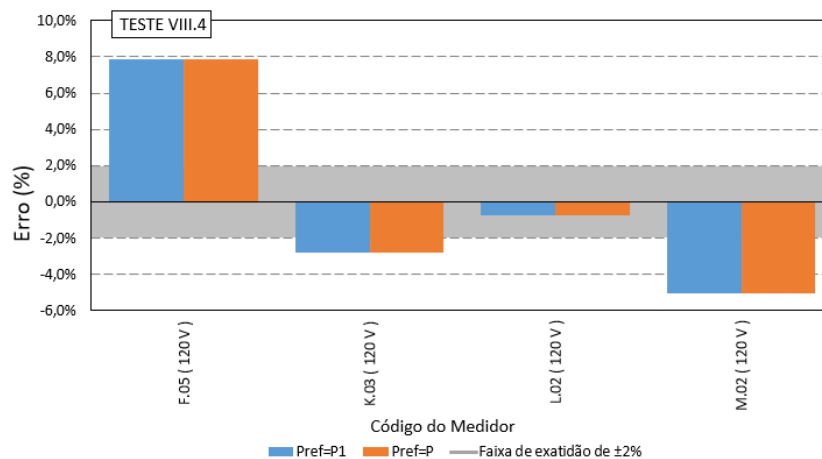


Figura 93 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VIII.4.

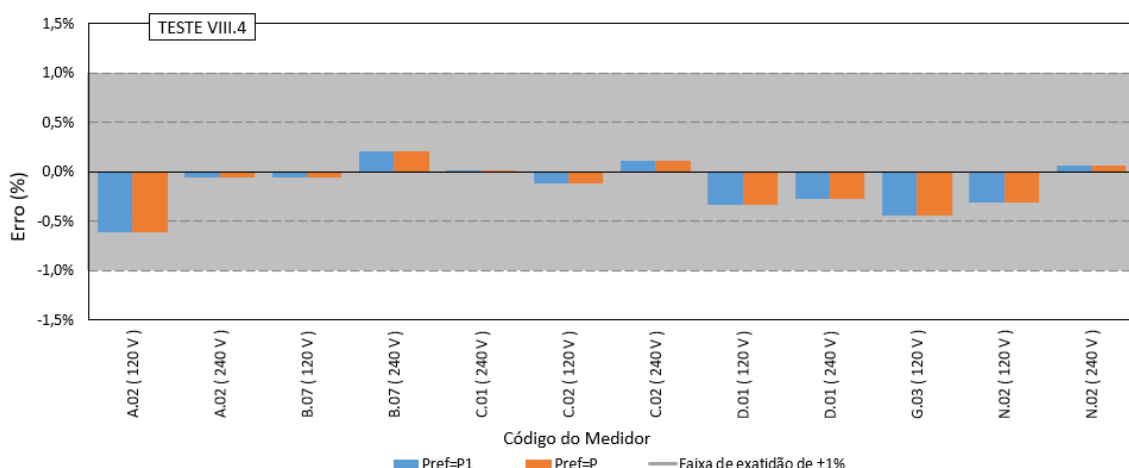


Figura 94 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VIII.4.

Quando tomada como referência  $P_1$ , o teste VIII.4 resultou em desvios fora da faixa de exatidão para 3 dos 4 medidores eletromecânicos trifásicos com o maior desvio de 7,86%

registrado para o medidor F.05. Quanto aos medidores eletrônicos, não houve nenhum desvio que resultou na violação da faixa de exatidão dos medidores.

Mais uma vez os resultados dos testes quando tomada como referência a potência total foram semelhantes, uma vez que não está sendo utilizado  $P_h$  para a realização do mesmo.

#### 4.3.8.5 Teste VIII.5 - Teste NBR 14520 (5.7.5) – sequência de fase invertida

Agora é aplicada tensão e corrente na sequência *cba*. Os resultados são mostrados nas Figuras 95 e 96 para medidores eletromecânicos e eletrônicos, respectivamente.

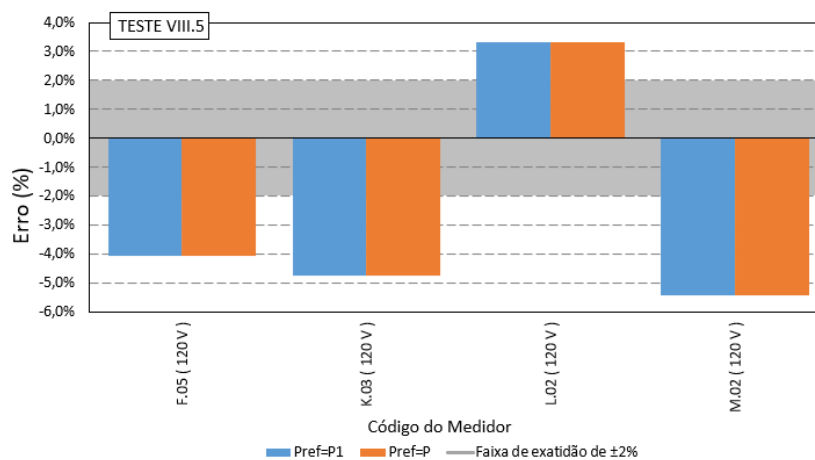


Figura 95 - Desvios de medição verificados para os medidores eletromecânicos quando submetidos ao teste VIII.5.

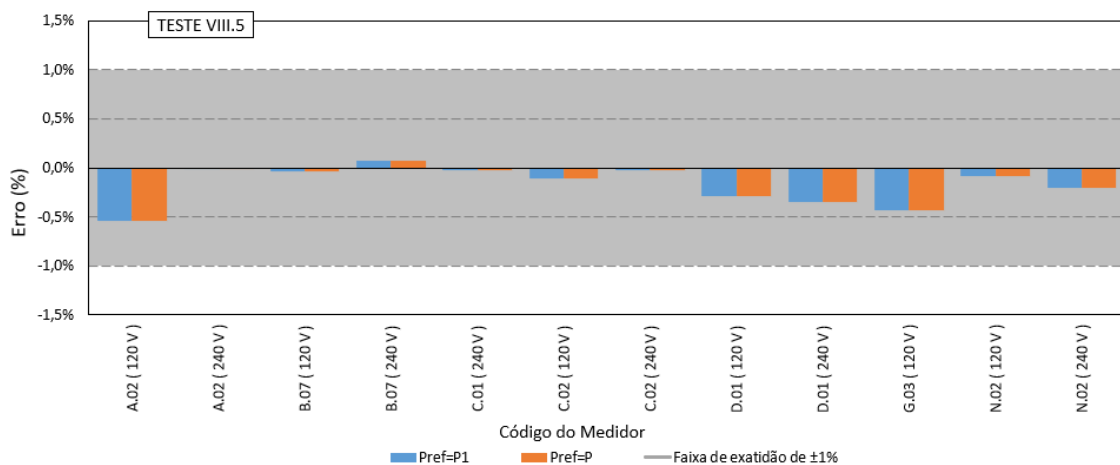


Figura 96 - Desvios de medição verificados para os medidores eletrônicos quando submetidos ao teste VIII.5.

Quanto tomada como referência  $P_1$ , o teste VIII.5 mais uma vez resultou em desvios fora da faixa de exatidão para 3 dos 4 medidores eletromecânicos trifásicos com o maior desvio



de -5,43% registrado para o medidor M.02. Quanto aos medidores eletrônicos, não houve nenhum desvio que resultou na violação da faixa de exatidão dos medidores.

Mais uma vez os resultados dos testes quando tomada como referência a potência total foram semelhantes, uma vez que não está sendo utilizado  $P_h$  para a realização do mesmo.

#### 4.4 Síntese dos resultados

Para facilitar a compreensão dos resultados, a Figura 97 apresenta um resumo com todos os resultados para medidores eletromecânicos e eletrônicos, segregados quando adotada a potência fundamental ( $P_1$ ) ou a total ( $P$ ) como referência.

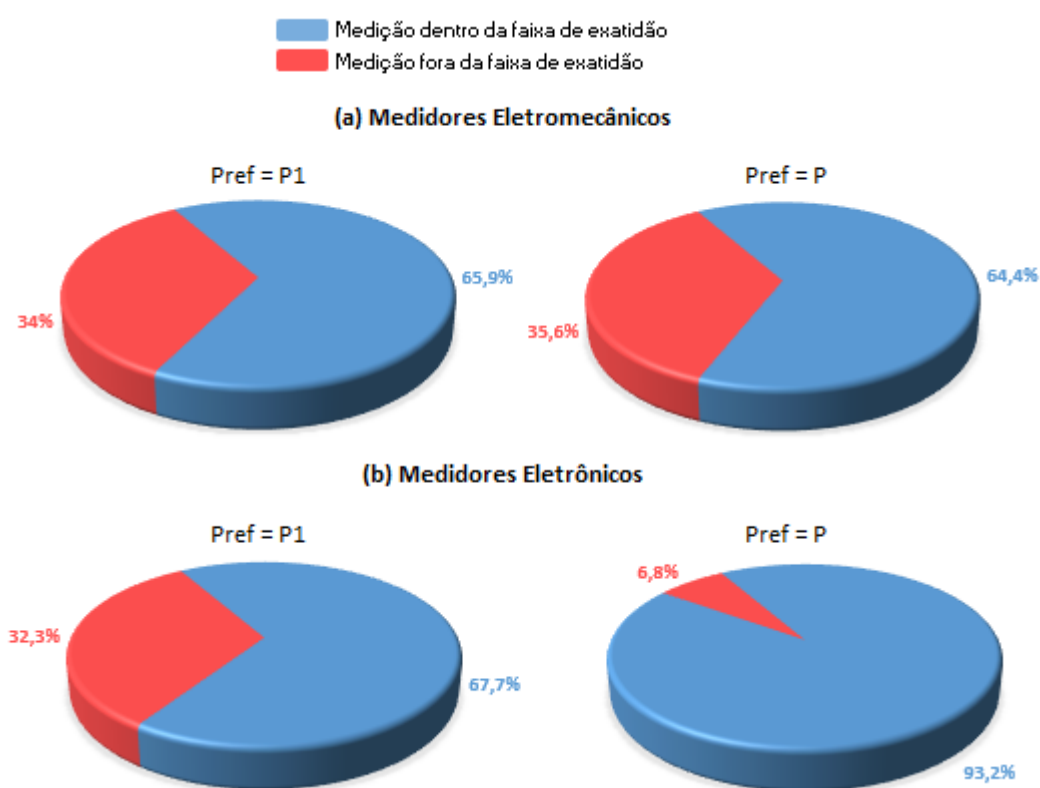


Figura 97 - Síntese dos resultados de desvio de medição.

Diante dos resultados, observa-se um percentual muito grande de medidores que apresentaram resultados fora da faixa de exatidão.

Quanto aos medidores eletromecânicos, 34% dos testes ficaram fora da faixa de exatidão tomando como referência  $P_1$ . Quando tomada como referência a potência total ( $P$ ) esse percentual aumentou ainda mais, com um valor de 35,6%.

Já para os medidores eletrônicos, tomando como referência  $P_1$ , um percentual de 32,3% dos testes apresentou desvios fora da faixa de exatidão. Tomando como referência a

potência total ( $P$ ) esse percentual diminuiu bastante, caindo para 6,8%. Com esse resultado observa-se que os medidores eletrônicos tendem a medir de maneira geral a potência total e não a fundamental.

#### 4.5 Considerações finais

O presente capítulo mostrou os resultados dos desvios de medição para diversos medidores. Com os resultados, foi possível ver que não existe isonomia para a medição da energia elétrica ativa, uma vez que os medidores, de forma geral, apresentaram desvios significativos medindo uma mesma forma de onda. Além disso, os resultados mostraram que o fluxo harmônico  $P_h$  possui grande influência nos resultados. De maneira geral, os resultados do Módulo V apresentaram erros positivos, uma vez que o fluxo harmônico é dado da fonte para a carga, ou seja, apresenta um valor de  $P_h$  positivo. Já em relação aos testes do módulo VI o inverso ocorre. Nesses testes, como o fluxo se dá da carga para a fonte e, conseqüentemente, o  $P_h$  apresenta valor negativo, os medidores, de maneira geral, apresentaram erros negativos.

Um outro ponto que chamou bastante atenção foi em relação aos testes VII.7, VII.8 e VII.9, onde foi possível ver erros acima de 100%. Um fato curioso é que, para alguns medidores, os resultados apresentaram desvio bastante significativo, enquanto que para outros não, mais uma vez comprovando a total falta de isonomia entre os diferentes medidores.

Finalmente, os resultados do Módulo VIII.8 não apresentaram desvios significativos. Esse fato mostra que, via de regra, o desequilíbrio não possui tanta influência nos desvios de medição.

Sendo assim, fica clara a total falta de isonomia para a medição da energia elétrica ativa, uma vez que os medidores, de forma geral, apresentaram desvios significativos medindo uma mesma forma de onda. Além disso, um outro fator que também é bastante relevante é em relação à data de calibração de cada medidor. Cumpre destacar que os medidores foram calibrados em algum momento, porém, tal calibração não foi feita para fins específicos do trabalho aqui realizado. Nesse sentido, alguns medidores foram retirados diretamente de unidades consumidoras, sendo que esses podem ter ficado bastante anos sem terem passado por nenhuma calibração, enquanto outros nunca foram utilizados anteriormente. Diante do exposto, fica clara a necessidade de uma revisão normativa e, além disso, é importante também que as concessionárias fiquem atentas e façam sempre uma substituição periódica para fins de calibração dos medidores instalados em seu parque de medição.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como foco principal a avaliação da perda interna ativa e também dos desvios de medição em condições não senoidais e/ou desequilibradas para medidores dos tipos eletromecânicos e eletrônicos.

No capítulo 2 foi apresentado o princípio de funcionamento dos medidores de energia elétrica, assim como o desenvolvimento analítico sobre o conceito de potência elétrica ativa segundo a norma IEEE Std. 1459-2010 [11]. Adicionalmente, foi apresentada a metodologia atual para quantificação das perdas no sistema de distribuição e os respectivos impactos que as perdas internas e os desvios de medição podem causar em tais perdas.

O capítulo 3 por sua vez tratou das perdas internas em medidores de energia elétrica ativa. Através das normas que tratam do assunto atualmente, verificou-se que os valores de perda interna ativa que são normatizados pelo Módulo 7 dos Procedimentos de Distribuição são bastante inferiores se comparados com as Portarias nº 285/2008 e nº 587/2012, fato que por si só já mostra que os valores regulatórios atuais precisam de atualização, uma vez que os fabricantes de medidores seguem as Portarias do INMETRO e não os Procedimentos de Distribuição.

Através dos resultados da perda interna ativa, foi possível ver que a maioria dos medidores eletromecânicos apresentaram perda interna superior aos valores regulatórios utilizados atualmente pelo Módulo 7 do PRODIST, sendo que esse tipo de medidor ainda é muito utilizado atualmente, representando em torno da metade do parque de medição brasileiro. Este fato pode fazer com que distribuidoras possam estar tendo grandes prejuízos econômicos. Em relação aos medidores eletrônicos, uma quantidade menor violou o limite regulatório, porém as amplitudes das violações foram maiores, registrando, para o pior caso, uma ultrapassagem superior a 140% em relação à perda interna regulatória estabelecida pela ANEEL no Módulo 7 do PRODIST. Diante dos resultados ficou comprovada a necessidade de mudança nos valores utilizados pela ANEEL, sendo que é proposto um adicional de 0,25 W para cada tipo de medidor, levando a novos valores de perdas internas regulatórias de 0,75 W por bobina de tensão para medidores eletrônicos e 1,25W para os eletromecânicos.

Finalmente, o capítulo 4 mostrou os resultados dos desvios de medição onde foi possível ver que uma grande quantidade de medidores violou a faixa de exatidão. De maneira geral, os medidores, tanto eletromecânicos quanto eletrônicos apresentaram resultados bastante semelhantes para os testes onde o  $P_h$  é nulo, seja nos testes onde foram aplicadas apenas formas

de ondas fundamentais, com a tensão distorcida e a corrente fundamental, com a tensão fundamental e a corrente distorcida ou nos testes com harmônicas de ordens distintas. Conclui-se através dos resultados que, de fato, a componente  $P_h$  nula não possui influência nos resultados das medições.

Já para os testes com  $P_h$  diferente de zero os testes começaram a apresentar resultados mais expressivos. De maneira geral, quando o fluxo harmônico se dá da fonte para a carga, ou seja, o  $P_h$  é maior que zero, os medidores tendem a medir valores maiores do que deveriam tomando como referência  $P_1$ , apresentando assim erros positivos. O inverso ocorre quando o fluxo se dá no sentido inverso, da carga para a fonte.

Por fim, os testes que tiveram como base o estudo feito por [6] não chegaram a apresentar desvios de 500%, como no estudo realizado pelo autor, porém, foram verificados desvios maiores do que 100%.

Diante dos resultados do trabalho, nota-se que a regulamentação atual carece de metodologias a fim de verificar o desempenho dos medidores operando em ambientes com distorções que condizem com a atual realidade da rede elétrica, mostrando-se necessária uma adequação normativa devido à nova característica do sistema elétrico. Além disso, conforme já foi visto, também é importante que as distribuidoras fiquem atentas e façam sempre uma substituição periódica para fins de calibração dos medidores instalados em seu parque de medição, evitando assim erros de medição e, conseqüentemente, incorretas contabilizações de perdas técnicas e não técnicas, podendo inclusive evitar perdas de receita.

## **5.1 Propostas para os próximos passos do trabalho**

Diante de todas as constatações apresentadas e reconhecendo a relevância do tema abordado, apresenta-se as seguintes propostas como parte do planejamento para prosseguimento dos trabalhos.

- Realização de testes de perdas internas e desvios de medição em mais de 1 (um) medidor por modelo, fazendo uso de tratamentos estatísticos a fim de se obter uma maior confiabilidade nos resultados.
- Realização de testes de perdas internas e desvios de medição em condições de temperatura reais de operação, visto que essas podem chegar a 80° C. Os testes realizados no âmbito deste trabalho, por exemplo, foram feitos em ambiente com temperatura aproximada de 20° C.

- Modelagem matemática sobre os medidores eletromecânicos operando em condições não senoidais de operação a fim de entender, por exemplo, o porquê dos desvios maiores que 100% aplicando formas de onda específicas, conforme visto neste trabalho.
- Análise da flutuação de tensão nos desvios de medição.
- Análise dos desvios de medição de potência e energia para medidores utilizados para clientes conectados na média e alta tensão (Grupo A).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. E. Emanuel, F. J. Levitsky e E. M. Gulachenski, "Induction watt-hour meter performance on rectifier/inverter circuits," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, nº 11, pp. 4422-4427, 1981. <https://doi.org/10.1109/TPAS.1981.316855>
- [2] J. Driesen, T. Van Craenenbroeck e V. D. D., "The registration of harmonic power by analog and digital power meters," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 47, nº 1, pp. 195-198, 1998. <https://doi.org/10.1109/19.728817>
- [3] A. L. Henriques, *Medição de Energia Elétrica para Faturamento: Estudo Comparativo de Medidores Eletrônicos e Eletromecânicos, com Foco no Desempenho sob Condições não Senoidais*, Belo Horizonte: Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.
- [4] L. C. Caldeirão, *Avaliação experimental de medidores watt-Hora operando em condições não-senoidais*, Ilha Solteira: Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2007.
- [5] D. P. Neto, *Avaliação de desempenho de medidores monofásicos e trifásicos de energia elétrica dos tipos eletromecânico e eletrônico operando com cargas não-lineares*, Goiânia: Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, 2010.
- [6] F. Leferink, C. Keyer e A. Melentjev, "Static energy meter errors caused by conducted electromagnetic interference," *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, pp. 49-55, 2016. <https://doi.org/10.1109/MEMC.2016.7866234>
- [7] J. Szkutnik e A. Gawlak, "Systematical energy losses of electronic meters," *Elektroenergetika Journal*, vol. 2, nº 4, 2009.
- [8] L. C. E. D. Evangelista, *Efeitos das distorções harmônicas (tensões e correntes) e desequilíbrios (tensões) em medidores eletrônicos trifásicos de energia elétrica ativa*, Ilha Solteira: Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2008.
- [9] S. M. Filho, *Medição de Energia Elétrica*, Pernambuco: Editora Universitária - Universidade de Pernambuco, 1980.
- [10] M. Q. F. Balthazar, J. Alves Jr. e E. Watanabe, "Medidores de Watt-Hora Eletrônicos na Presença de Harmônicos: Análise e Testes Preliminares," *SENDI*, pp. 633-647, 2004.
- [11] IEEE Std 1459, *IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions*, IEEE, 2010.
- [12] ANEEL, "Perdas de Energia Elétrica na Distribuição," 2019.
- [13] ANEEL, *Módulo 7 - Cálculo de Perdas na Distribuição*, Procedimentos de Distribuição - PRODIST, 2018.
- [14] Nota Técnica nº 026/2006- SRD/SRC/SRE/ANEEL, *Tratamento regulatório das perdas de energia nas tarifas dos sistemas de distribuição de energia elétrica*, ANEEL, 2006.
- [15] INMETRO, *Portaria nº 285*, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO, 2008.
- [16] INMETRO, *Portaria nº 587*, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO, 2012.
- [17] ANEEL, *Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica*, Procedimentos de Distribuição - PRODIST, 2018.

[18] ABNT, *NBR 14520 - Medidores eletrônicos de energia elétrica - método de ensaio*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

# APÊNDICE I – Mapa de perdas internas de medidores

Tabela 6 – Resultados de perdas internas comparados com os valores regulatórios atuais.

Código	Tecnologia	Nro. de Fases	Nro. de Elementos	Nro. de Fios	Tensão Nominal	Índice de Classe	PERDAS		Energia anual consumida
							P (W)	S (VA)	
F.05	Eletromecânico	3	3	4	120 V	2,0 (A)	0,902	5,234	0,0009877
L.02	Eletromecânico	3	3	4	120 V	2,0 (A)	0,933	5,433	0,0010216
F.04	Eletromecânico	3	2	3	120 V	2,0 (A)	1,017	5,468	0,0011136
B.12	Eletromecânico	2	2	3	120 V	2,0 (A)	1,066	7,517	0,0007782
E.01	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,071	6,718	0,0003909
H.01	Eletromecânico	3	2	3	120 V	2,0 (A)	1,084	7,714	0,0011870
J.03	Eletromecânico	3	2	3	120 V	2,0 (A)	1,091	7,833	0,0011946
A.07	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,112	8,998	0,0004059
L.01	Eletromecânico	2	2	3	120 V	2,0 (A)	1,131	5,434	0,0008256
B.11	Eletromecânico	3	3	4	120 V	2,0 (A)	1,151	8,131	0,0012603
M.02	Eletromecânico	3	3	4	120 V	2,0 (A)	1,196	8,028	0,0013096
A.03	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,207	7,615	0,0004406
F.06	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,252	6,312	0,0004570
K.03	Eletromecânico	3	3	4	120 V	2,0 (A)	1,271	8,073	0,0013917
M.01	Eletromecânico	3	2	3	120 V	2,0 (A)	1,271	7,932	0,0013917
K.02	Eletromecânico	3	2	3	120 V	2,0 (A)	1,310	8,215	0,0014345
B.06	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,322	8,600	0,0004825
J.01	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,325	8,798	0,0004836
A.05	Eletromecânico	1	1	2	220 V	2,0 (A)	0,910	5,693	0,0003322
H.02	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	0,829	3,228	0,0003026
A.06	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	0,838	6,723	0,0003059
J.02	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	0,867	6,254	0,0003165
F.01	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	0,927	4,634	0,0003384
E.04	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	0,989	5,769	0,0003610
F.03	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	1,014	4,877	0,0003701
B.10	Eletromecânico	1	1	3	240 V	2,0 (A)	1,053	6,654	0,0003843
K.01	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	1,092	5,123	0,0003986
F.02	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	1,283	5,264	0,0004683
A.02	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,140	0,159	0,0001533
D.05	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,218	2,385	0,0001591
C.02	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,266	2,521	0,0002913
C.05	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,266	2,726	0,0000971
G.03	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,271	2,866	0,0002967
G.04	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,276	2,881	0,0002015
C.08	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,284	2,727	0,0001037
C.03	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,306	2,788	0,0002234
N.03	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,324	1,603	0,0001183
A.01	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,351	4,138	0,0001281
N.02	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,365	1,592	0,0003997
N.01	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,368	1,625	0,0002686
C.04	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,420	4,039	0,0001533
D.02	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,426	2,751	0,0001555
I.02	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,437	4,129	0,0001595
D.01	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,457	1,159	0,0005004
B.07	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,461	1,031	0,0005048
D.04	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,468	1,181	0,0003416
B.01	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,503	1,115	0,0003672
E.03	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,753	5,717	0,0002748
B.09	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,754	4,875	0,0002752
B.02	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,951	5,561	0,0003471
B.08	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	1,010	5,627	0,0003687
G.01	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	1,125	5,841	0,0004106
E.02	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	1,195	1,331	0,0008724
A.02	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,268	0,359	0,0002935
C.01	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,323	3,649	0,0003537
N.03	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,384	4,186	0,0001402
B.07	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,407	0,926	0,0004457
I.01	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,416	5,957	0,0001518
B.05	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,428	5,585	0,0001562
N.01	Eletrônico	2	2	3	240 V	1,0 (B)	0,431	4,154	0,0003146
B.03	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,437	5,662	0,0001595
N.02	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,438	4,123	0,0004796
A.04	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,444	6,950	0,0001621
G.02	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,447	5,185	0,0001632
B.04	Eletrônico	1	1	3	240 V	1,0 (B)	0,454	5,838	0,0001657
D.03	Eletrônico	1	1	3	240 V	1,0 (B)	0,481	6,971	0,0001756
D.05	Eletrônico	2	2	3	240 V	1,0 (B)	0,484	7,186	0,0003533
C.06	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,497	6,764	0,0001814
D.01	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,561	2,317	0,0006143
C.07	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,606	7,200	0,0002212
B.01	Eletrônico	2	2	3	240 V	1,0 (B)	0,620	1,526	0,0004526
C.02	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,699	7,579	0,0007654
A.01	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,783	12,474	0,0002858
D.02	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,907	8,382	0,0003311
I.03	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	1,241	8,217	0,0004530



Tabela 7 - Resultados de perdas internas comparados com os valores regulatórios propostos.

Código	Tecnologia	Nro. de Fases	Nro. de Elementos	Nro. de Fios	Tensão Nominal	Índice de Classe	PERDAS		Energia anual consumida
							P (W)	S (VA)	
F.05	Eletromecânico	3	3	4	120 V	2,0 (A)	0,902	5,234	0,0009877
L.02	Eletromecânico	3	3	4	120 V	2,0 (A)	0,933	5,433	0,0010216
F.04	Eletromecânico	3	2	3	120 V	2,0 (A)	1,017	5,468	0,0011136
B.12	Eletromecânico	2	2	3	120 V	2,0 (A)	1,066	7,517	0,0007782
E.01	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,071	6,718	0,0003909
H.01	Eletromecânico	3	2	3	120 V	2,0 (A)	1,084	7,714	0,0011870
J.03	Eletromecânico	3	2	3	120 V	2,0 (A)	1,091	7,833	0,0011946
A.07	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,112	8,998	0,0004059
L.01	Eletromecânico	2	2	3	120 V	2,0 (A)	1,131	5,434	0,0008256
B.11	Eletromecânico	3	3	4	120 V	2,0 (A)	1,151	8,131	0,0012603
M.02	Eletromecânico	3	3	4	120 V	2,0 (A)	1,196	8,028	0,0013096
A.03	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,207	7,615	0,0004406
F.06	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,252	6,312	0,0004570
K.03	Eletromecânico	3	3	4	120 V	2,0 (A)	1,271	8,073	0,0013917
M.01	Eletromecânico	3	2	3	120 V	2,0 (A)	1,271	7,932	0,0013917
K.02	Eletromecânico	3	2	3	120 V	2,0 (A)	1,310	8,215	0,0014345
B.06	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,322	8,600	0,0004825
J.01	Eletromecânico	1	1	2	120 V	2,0 (A)	1,325	8,798	0,0004836
A.05	Eletromecânico	1	1	2	220 V	2,0 (A)	0,910	5,693	0,0003322
H.02	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	0,829	3,228	0,0003026
A.06	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	0,838	6,723	0,0003059
J.02	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	0,867	6,254	0,0003165
F.01	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	0,927	4,634	0,0003384
E.04	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	0,989	5,769	0,0003610
F.03	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	1,014	4,877	0,0003701
B.10	Eletromecânico	1	1	3	240 V	2,0 (A)	1,053	6,654	0,0003843
K.01	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	1,092	5,123	0,0003986
F.02	Eletromecânico	1	1	2	240 V	2,0 (A)	1,283	5,264	0,0004683
A.02	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,140	0,159	0,0001533
D.05	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,218	2,385	0,0001591
C.02	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,266	2,521	0,0002913
C.05	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,266	2,726	0,0000971
G.03	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,271	2,866	0,0002967
G.04	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,276	2,881	0,0002015
C.08	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,284	2,727	0,0001037
C.03	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,306	2,788	0,0002234
N.03	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,324	1,603	0,0001183
A.01	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,351	4,138	0,0001281
N.02	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,365	1,592	0,0003997
N.01	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,368	1,625	0,0002686
C.04	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,420	4,039	0,0001533
D.02	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,426	2,751	0,0001555
I.02	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,437	4,129	0,0001595
D.01	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,457	1,159	0,0005004
B.07	Eletrônico	3	3	4	120 V	1,0 (B)	0,461	1,031	0,0005048
D.04	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,468	1,181	0,0003416
B.01	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	0,503	1,115	0,0003672
E.03	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,753	5,717	0,0002748
B.09	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,754	4,875	0,0002752
B.02	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	0,951	5,561	0,0003471
B.08	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	1,010	5,627	0,0003687
G.01	Eletrônico	1	1	2	120 V	1,0 (B)	1,125	5,841	0,0004106
E.02	Eletrônico	2	2	3	120 V	1,0 (B)	1,195	1,331	0,0008724
A.02	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,268	0,359	0,0002935
C.01	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,323	3,649	0,0003537
N.03	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,384	4,186	0,0001402
B.07	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,407	0,926	0,0004457
I.01	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,416	5,957	0,0001518
B.05	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,428	5,585	0,0001562
N.01	Eletrônico	2	2	3	240 V	1,0 (B)	0,431	4,154	0,0003146
B.03	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,437	5,662	0,0001595
N.02	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,438	4,123	0,0004796
A.04	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,444	6,950	0,0001621
G.02	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,447	5,185	0,0001632
B.04	Eletrônico	1	1	3	240 V	1,0 (B)	0,454	5,838	0,0001657
D.03	Eletrônico	1	1	3	240 V	1,0 (B)	0,481	6,971	0,0001756
D.05	Eletrônico	2	2	3	240 V	1,0 (B)	0,484	7,186	0,0003533
C.06	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,497	6,764	0,0001814
D.01	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,561	2,317	0,0006143
C.07	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,606	7,200	0,0002212
B.01	Eletrônico	2	2	3	240 V	1,0 (B)	0,620	1,526	0,0004526
C.02	Eletrônico	3	3	4	240 V	1,0 (B)	0,699	7,579	0,0007654
A.01	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,783	12,474	0,0002858
D.02	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	0,907	8,382	0,0003311
I.03	Eletrônico	1	1	2	240 V	1,0 (B)	1,241	8,217	0,0004530

Tabela 8 - Quantidade de medidores por distribuidora do Grupo Energisa.

Código do medidor	Qtde. de Medidores por Distribuidora								
	EBO	EMG	EMS	EMT	ENF	EPB	ESE	ESS	ETO
A.01 (120 V)		25.778	1.264				55.095	591	
A.01 (240 V)	7.017			10.522	9.602	71.981			24.567
A.02 (120 V)		1.585	3.766				3.011	11.553	
A.02 (240 V)	1.332			5.873	1.002	7.528			660
A.03 (120 V)		30.157	2.145				81.583		
A.04 (240 V)	1.627					22.248			
A.05 (220 V)									
A.06 (240 V)	21.673				14.375	157.306			
A.07 (120 V)	693	37.491	31.355	9.159	8.113	399	7.105	17.685	698
B.01 (120 V)		977	139.462				1.548	108.811	
B.01 (240 V)				269.305					367
B.02 (120 V)		4.834	56.648				23.470	8.713	
B.03 (240 V)				53.888	2.492				59.833
B.04 (240 V)		1.042		46.653				27.240	
B.05 (240 V)		32.591	30.513				57.857	13.097	
B.06 (120 V)		10.242		113.555	19		13.820	37.041	
B.07 (120 V)		595	53.608				1.532	27.134	
B.07 (240 V)	993			53.961	208	9.550			1.335
B.08 (120 V)			52.164	39.191				5.953	
B.09 (120 V)	17.004			105.473	11.723	95.175			80.393
B.10 (240 V)		2.899		90.439	83			42.963	1
B.11 (120 V)		1.815		29.841	45		9.122	28.945	3
B.12 (120 V)		7.480		122.885			13.320	93.257	
C.01 (120 V)		6.864					8.544	5.275	
C.02 (120 V)									
C.02 (240 V)					1.335				3.433
C.03 (120 V)		27.014	676	950	3		28.796	6.460	894
C.04 (120 V)	17.627	16.609	7.338		4.629	114.892	35.151	204	
C.05 (120 V)		39.349	5.179				73.225	1	
C.06 (240 V)	51.500			2	7.515	395.262			20.662
C.07 (240 V)			21.301					3.379	
C.08 (120 V)				34.053					90.900
D.01 (120 V)		4.407	22.227				22.818	13.256	
D.01 (240 V)	5.246			30.459	1.989	34.805			18.314
D.02 (120 V)		5.989	48.997				26.098	477	
D.02 (240 V)	14.022			30.477	1.627	70.019			75.317
D.03 (240 V)		7.909		29.395				10.036	
D.04 (120 V)		5.203	55.541				7.721	23.682	
D.05 (120 V)		5.203	55.541				7.721	23.682	
D.05 (240 V)				184.577					10.644
E.01 (120 V)	350	20.974	6.328	734	7.955	669	109.376		
E.02 (120 V)		7.489					19.860		
E.03 (120 V)		3.192			329	20.893			
E.04 (240 V)	4.028	12			2	25.954	4.913		
F.01 (240 V)	373			4.368	2.276	9.223			109
F.02 (240 V)	3.314	251	97.893	10.474	2.017	119.810	28.374		
F.03 (240 V)	373			4.370	2.278	9.223			109
F.04 (120 V)			26.455	12	0	0	714	5	1
F.05 (120 V)	241	144	12.192	1.257	448	2.441	1	547	6
F.06 (120 V)		8.704	44.370				5.930	8.506	
G.01 (120 V)		5.614					27.383		
G.02 (240 V)	3.028				2.262	49.312			35.255
G.03 (120 V)	436	110	19.415		144	1.594	3		12.341
G.04 (120 V)			77.480						3.817
H.01 (120 V)	9	543	6.874	36.446	7	102	67	8.509	2
H.02 (240 V)	2.053	5.463	22.525	19.491	833	620	10.769	13.693	40
I.01 (240 V)	2.053			19.491	833	620			40
I.02 (120 V)		5.463	22.525				10.769	13.693	
I.03 (240 V)			3.140			3.318	94		16.413
J.01 (120 V)		10.242		113.555	19		13.820	37.041	
J.02 (240 V)	2	8		5.932	7.294	4.752	263	182	107.861
J.03 (120 V)		7.480		122.885			13.320	93.257	
K.01 (240 V)	245	9.920	21.991	30.916	1.164	108.961	33.525	18.465	8.022
K.02 (120 V)		3.556	166	4.209	0	0	3.337	12.410	2
K.03 (120 V)	8	1.586	1.610	969	458	495	2.274	9.616	1.291
L.01 (120 V)			26.453	12	0	0	712	5	
L.02 (120 V)	241	144	12.190	1.257	448	2.439	0	545	4
M.01 (120 V)		3.556	166	4.209	0	0	3.337	12.410	1
M.02 (120 V)	8	1.584	1.610	967	456	493	2.274	9.614	1.291

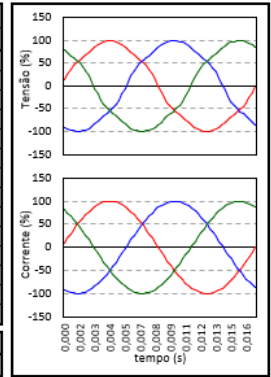
# APÊNDICE II – Cadernos de testes e resultados dos desvios de medição

MÓDULO I - Tensões e correntes puramente senoidais (Resistivo)										TESTE I.1				
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	
2							2							
3							3							
4							4							
5							5							
6							6							
7							7							
8							8							
9							9							
10							10							
11							11							
12							12							
13							13							
15							15							
DTT%	0,0%		0,0%		0,0%		DTI%	0,0%		0,0%		0,0%		
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%						
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00		
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00		
I1(A)	10,00		A											

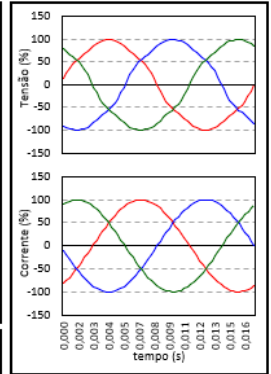
MÓDULO I - Tensões e correntes puramente senoidais (Indutivo)										TESTE I.2				
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	-60,00	100,00	-180,00	100,00	60,00	
2							2							
3							3							
4							4							
5							5							
6							6							
7							7							
8							8							
9							9							
10							10							
11							11							
12							12							
13							13							
15							15							
DTT%	0,0%		0,0%		0,0%		DTI%	0,0%		0,0%		0,0%		
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%						
FPd	0,50 IND		0,50 IND		0,50 IND		P1 (W)	600,00		600,00		600,00		
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	600,00		600,00		600,00		
I1(A)	10,00		A											

MÓDULO I - Tensões e correntes puramente senoidais (Capacitivo)										TESTE I.3				
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	36,87	100,00	-83,13	100,00	156,87	
2							2							
3							3							
4							4							
5							5							
6							6							
7							7							
8							8							
9							9							
10							10							
11							11							
12							12							
13							13							
15							15							
DTT%	0,0%		0,0%		0,0%		DTI%	0,0%		0,0%		0,0%		
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%						
FPd	0,80 CAP		0,80 CAP		0,80 CAP		P1 (W)	960,00		960,00		960,00		
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	960,00		960,00		960,00		
I1(A)	10,00		A											

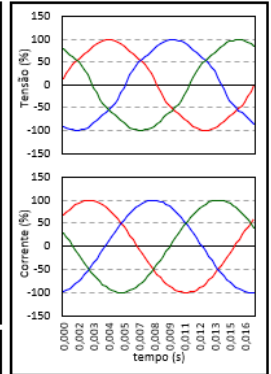
MÓDULO II - Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais (Resistivo)							TESTE II.1						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00
2							2						
3	3,00	0,00	3,00	0,00	3,00	0,00	3						
4							4						
5	4,00	0,00	4,00	120,00	4,00	-120,00	5						
6							6						
7	2,00	0,00	2,00	-120,00	2,00	120,00	7						
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
15							15						
DTT%	5,4%		5,4%		5,4%		DTI%	0,0%		0,0%		0,0%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00	
I1(A)	10,00		A										



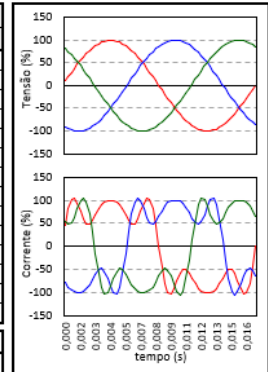
MÓDULO II - Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais (Indutivo)							TESTE II.2						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	-60,00	100,00	-180,00	100,00	60,00
2							2						
3	3,00	0,00	3,00	0,00	3,00	0,00	3						
4							4						
5	4,00	0,00	4,00	120,00	4,00	-120,00	5						
6							6						
7	2,00	0,00	2,00	-120,00	2,00	120,00	7						
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
15							15						
DTT%	5,4%		5,4%		5,4%		DTI%	0,0%		0,0%		0,0%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	0,50 (IND)		0,50 (IND)		0,50 (IND)		P1 (W)	600,00		600,00		600,00	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	600,00		600,00		600,00	
I1(A)	10,00		A										



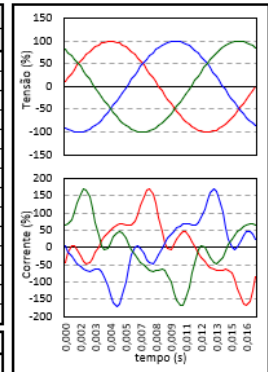
MÓDULO II - Tensões distorcidas e correntes puramente senoidais (Capacitivo)							TESTE II.3						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	36,87	100,00	-83,13	100,00	156,87
2							2						
3	3,00	0,00	3,00	0,00	3,00	0,00	3						
4							4						
5	4,00	0,00	4,00	120,00	4,00	-120,00	5						
6							6						
7	2,00	0,00	2,00	-120,00	2,00	120,00	7						
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
15							15						
DTT%	5,4%		5,4%		5,4%		DTI%	0,0%		0,0%		0,0%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	0,80 (CAP)		0,80 (CAP)		0,80 (CAP)		P1 (W)	960,00		960,00		960,00	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	960,00		960,00		960,00	
I1(A)	10,00		A										



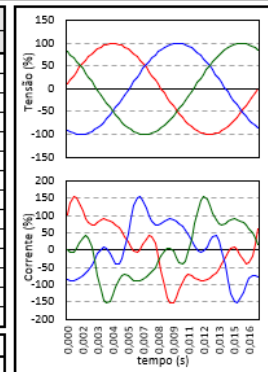
MÓDULO III - Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas (Resistivo)							TESTE III.1						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00
2							2						
3							3	25,00	0,00	25,00	0,00	25,00	0,00
4							4						
5							5	40,00	0,00	40,00	120,00	40,00	-120,00
6							6						
7							7	15,00	0,00	15,00	-120,00	15,00	120,00
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
15							15						
DTT%	0,0%		0,0%		0,0%		DTI%	49,5%		49,5%		49,5%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00	
V1(V)	120,00 V						Pt (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00	
I1(A)	10,00 A												

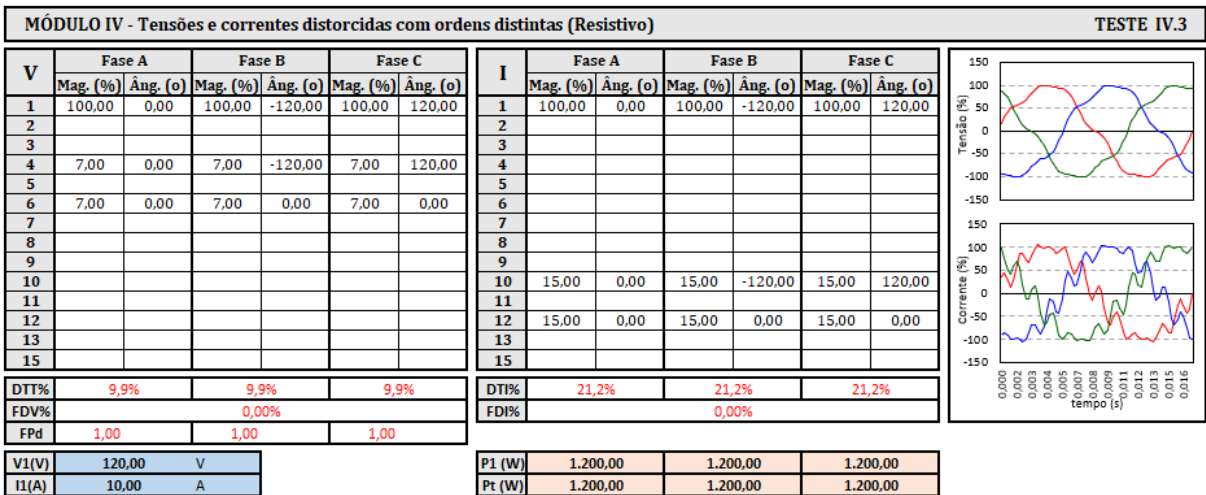
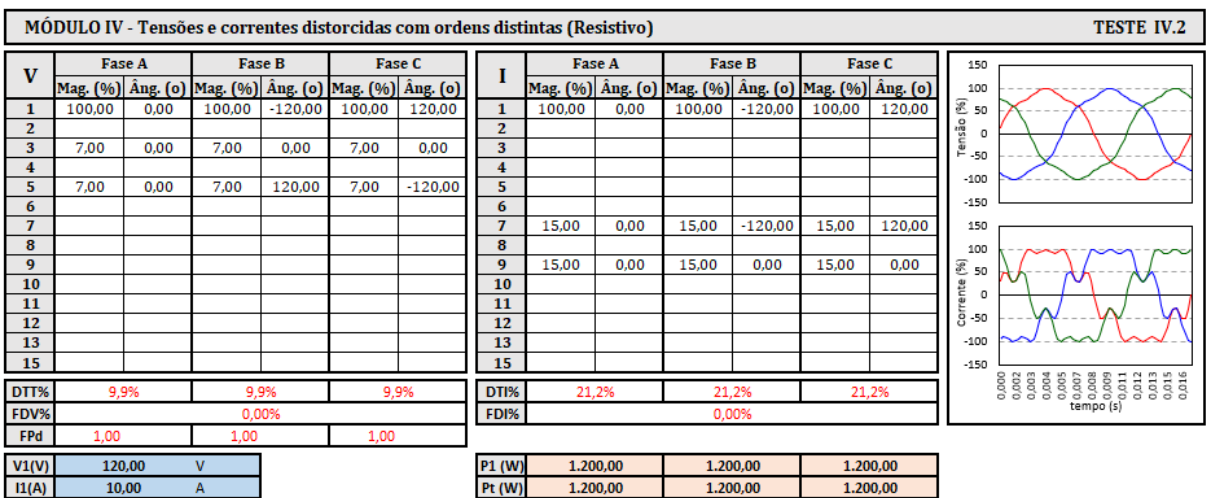
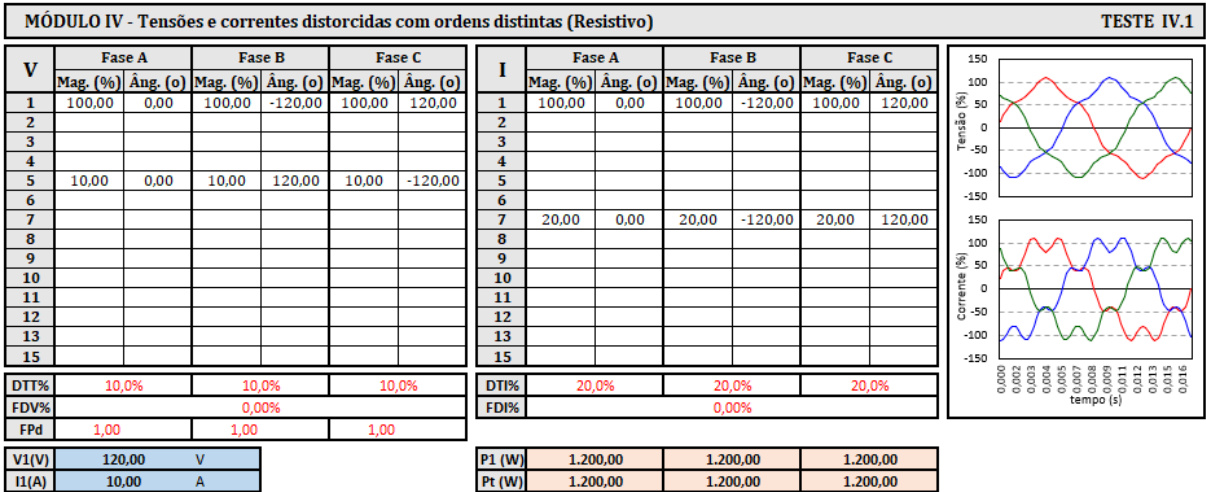


MÓDULO III - Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas (Indutivo)							TESTE III.2						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	-60,00	100,00	-180,00	100,00	60,00
2							2						
3							3	25,00	0,00	25,00	0,00	25,00	0,00
4							4						
5							5	40,00	0,00	40,00	120,00	40,00	-120,00
6							6						
7							7	15,00	0,00	15,00	-120,00	15,00	120,00
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
15							15						
DTT%	0,0%		0,0%		0,0%		DTI%	49,5%		49,5%		49,5%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	0,50 (IND)		0,50 (IND)		0,50 (IND)		P1 (W)	600,00		600,00		600,00	
V1(V)	120,00 V						Pt (W)	600,00		600,00		600,00	
I1(A)	10,00 A												

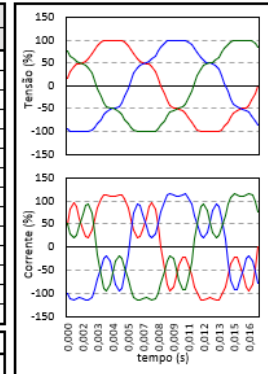


MÓDULO III - Tensões puramente senoidais e correntes distorcidas (Capacitivo)							TESTE III.3						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	36,87	100,00	-83,13	100,00	156,87
2							2						
3							3	25,00	0,00	25,00	0,00	25,00	0,00
4							4						
5							5	40,00	0,00	40,00	120,00	40,00	-120,00
6							6						
7							7	15,00	0,00	15,00	-120,00	15,00	120,00
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
15							15						
DTT%	0,0%		0,0%		0,0%		DTI%	49,5%		49,5%		49,5%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	0,80 (CAP)		0,80 (CAP)		0,80 (CAP)		P1 (W)	960,00		960,00		960,00	
V1(V)	120,00 V						Pt (W)	960,00		960,00		960,00	
I1(A)	10,00 A												

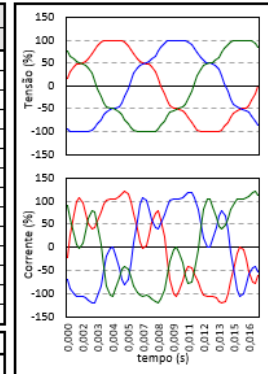




MÓDULO V - Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica resistiva) - Fluxo Fonte/Carga							TESTE V.1						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00
2							2						
3							3						
4							4						
5	7,00	0,00	7,00	120,00	7,00	-120,00	5	40,00	0,00	40,00	120,00	40,00	-120,00
6							6						
7	7,00	0,00	7,00	-120,00	7,00	120,00	7	30,00	0,00	30,00	-120,00	30,00	120,00
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
15							15						
DTT%	9,9%		9,9%		9,9%		DTI%	50,0%		50,0%		50,0%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.258,80		1.258,80		1.258,80	
I1(A)	10,00		A										



MÓDULO V - Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica indutiva) - Fluxo Fonte/Carga							TESTE V.2						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00
2							2						
3							3						
4							4						
5	7,00	0,00	7,00	120,00	7,00	-120,00	5	40,00	-60,00	40,00	60,00	40,00	-180,00
6							6						
7	7,00	0,00	7,00	-120,00	7,00	120,00	7	30,00	-60,00	30,00	-180,00	30,00	60,00
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
15							15						
DTT%	9,9%		9,9%		9,9%		DTI%	50,0%		50,0%		50,0%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.229,40		1.229,40		1.229,40	
I1(A)	10,00		A										



MÓDULO V - Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica capacitiva) - Fluxo Fonte/Carga							TESTE V.3						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00
2							2						
3							3						
4							4						
5	7,00	0,00	7,00	120,00	7,00	-120,00	5	40,00	60,00	40,00	180,00	40,00	-60,00
6							6						
7	7,00	0,00	7,00	-120,00	7,00	120,00	7	30,00	60,00	30,00	-60,00	30,00	180,00
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
15							15						
DTT%	9,9%		9,9%		9,9%		DTI%	50,0%		50,0%		50,0%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.229,40		1.229,40		1.229,40	
I1(A)	10,00		A										





MÓDULO VI - Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica resistiva) - Fluxo Carga/Fonte							TESTE VI.1							
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	
2							2							
3							3							
4							4							
5	7,00	0,00	7,00	120,00	7,00	-120,00	5	40,00	180,00	40,00	300,00	40,00	60,00	
6							6							
7	7,00	0,00	7,00	-120,00	7,00	120,00	7	30,00	180,00	30,00	60,00	30,00	300,00	
8							8							
9							9							
10							10							
11							11							
12							12							
13							13							
15							15							
DTI%	9,9%		9,9%		9,9%		DTI%	50,0%		50,0%		50,0%		
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%						
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00		
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.141,20		1.141,20		1.141,20		
I1(A)	10,00		A											

MÓDULO VI - Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica indutiva) - Fluxo Carga/Fonte							TESTE VI.2							
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	
2							2							
3							3							
4							4							
5	7,00	0,00	7,00	120,00	7,00	-120,00	5	40,00	120,00	40,00	240,00	40,00	0,00	
6							6							
7	7,00	0,00	7,00	-120,00	7,00	120,00	7	30,00	120,00	30,00	0,00	30,00	240,00	
8							8							
9							9							
10							10							
11							11							
12							12							
13							13							
15							15							
DTI%	9,9%		9,9%		9,9%		DTI%	50,0%		50,0%		50,0%		
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%						
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00		
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.170,60		1.170,60		1.170,60		
I1(A)	10,00		A											

MÓDULO VI - Tensões e correntes distorcidas de mesma ordem (Harmônica capacitiva) - Fluxo Carga/Fonte							TESTE VI.3							
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	
2							2							
3							3							
4							4							
5	7,00	0,00	7,00	120,00	7,00	-120,00	5	40,00	240,00	40,00	360,00	40,00	120,00	
6							6							
7	7,00	0,00	7,00	-120,00	7,00	120,00	7	30,00	240,00	30,00	120,00	30,00	0,00	
8							8							
9							9							
10							10							
11							11							
12							12							
13							13							
15							15							
DTI%	9,9%		9,9%		9,9%		DTI%	50,0%		50,0%		50,0%		
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%						
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00		
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.170,60		1.170,60		1.170,60		
I1(A)	10,00		A											



MÓDULO VII - Teste NBR 14520 (5.7.3) - Determinação de e1							TESTE VII.1							
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	50,00	0,00	50,00	-120,00	50,00	120,00	
2							2							
3							3							
4							4							
5							5							
6							6							
7							7							
8							8							
9							9							
10							10							
11							11							
12							12							
13							13							
14							14							
DTI%	0,0%		0,0%		0,0%		DTI%	0,0%		0,0%		0,0%		
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%						
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	600,00		600,00		600,00		
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	600,00		600,00		600,00		
I1(A)	10,00		A											

MÓDULO VII - Teste NBR 14520 (5.7.3)							TESTE VII.2							
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	50,00	0,00	50,00	-120,00	50,00	120,00	
2							2							
3							3							
4							4							
5	10,00	0,00	10,00	120,00	10,00	-120,00	5	20,00	0,00	20,00	120,00	20,00	-120,00	
6							6							
7							7							
8							8							
9							9							
10							10							
11							11							
12							12							
13							13							
14							14							
DTI%	10,0%		10,0%		10,0%		DTI%	40,0%		40,0%		40,0%		
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%						
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	600,00		600,00		600,00		
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	624,00		624,00		624,00		
I1(A)	10,00		A											

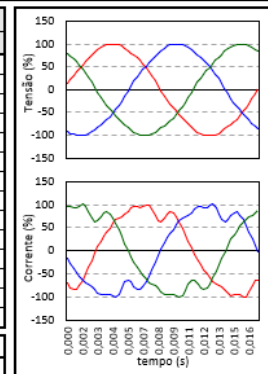
MÓDULO VII - Teste NBR 14520 (5.7.4)							TESTE VII.3							
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	
2							2							
3	0,90	0,00	0,90	0,00	0,90	0,00	3	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	
4							4							
5							5							
6							6							
7							7							
8							8							
9							9							
10							10							
11							11							
12							12							
13							13							
14							14							
DTI%	0,9%		0,9%		0,9%		DTI%	10,0%		10,0%		10,0%		
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%						
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	1.200,00		1.200,00		1.200,00		
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.201,08		1.201,08		1.201,08		
I1(A)	10,00		A											

**MÓDULO VII - Espectro tipicamente residencial**

**TESTE VII.4**

V	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00
2						
3	0,41	23,07	0,41	23,07	0,41	23,07
4						
5	2,15	36,35	2,15	156,35	2,15	-83,65
6						
7	0,77	58,86	0,77	-61,14	0,77	178,86
8						
9	0,21	-85,90	0,21	-85,90	0,21	-85,90
10						
11	0,45	32,58	0,45	152,58	0,45	-109,00
12						
13	0,03	163,22	0,03	43,22	0,03	283,22
14						

I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	-60,00	100,00	-180,00	100,00	60,00
2						
3	11,34	160,80	11,34	160,80	11,34	160,80
4						
5	9,28	110,00	9,28	230,00	9,28	-10,00
6						
7	5,15	100,00	5,15	-20,00	5,15	220,00
8						
9	3,61	94,07	3,61	94,07	3,61	94,07
10						
11	3,09	125,00	3,09	245,00	3,09	5,00
12						
13	1,03	210,00	1,03	90,00	1,03	330,00
14						



DTT%	2,4%	2,4%	2,4%
FDV%	0,00%		
FPd	0,50 (IND)	0,50 (IND)	0,50 (IND)

DTT%	16,3%	16,3%	16,3%
FDI%	0,00%		

V1(V)	120,00	V
I1(A)	10,00	A

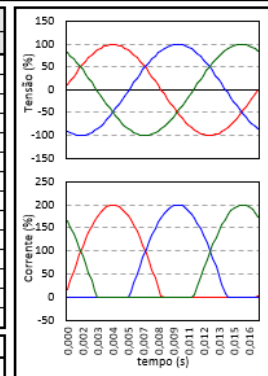
P1 (W)	600,00	600,00	600,00
Pt (W)	600,52	600,52	600,46

**MÓDULO VII - Retificador de meia-onda com tensão senoidal**

**TESTE VII.5**

V	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
0						
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						
22						
24						

I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
0	63,54	90,00	63,54	90,00	63,54	90,00
1	100,00	-0,49	100,00	-120,49	100,00	119,51
2	42,71	-91,84	42,71	28,16	42,71	-211,84
4	8,53	-93,66	8,53	-213,66	8,53	26,34
6	3,65	-95,25	3,65	-95,25	3,65	-95,25
8	2,02	-97,25	2,02	22,75	2,02	-217,25
10	1,28	-99,01	1,28	-219,01	1,28	20,99
12	0,88	-100,70	0,88	-100,70	0,88	-100,70
14	0,64	-102,40	0,64	17,60	0,64	-222,40
16	0,49	-104,10	0,49	-224,10	0,49	15,90
18	0,38	-105,80	0,38	-105,80	0,38	-105,80
20	0,31	-107,50	0,31	12,50	0,31	-227,50
22	0,25	-109,10	0,25	-229,10	0,25	10,90
24	0,21	-110,70	0,21	-110,70	0,21	-110,70



DTT%	0,0%	0,0%	0,0%
FDV%	0,00%		
FPd	1,00	1,00	1,00

DTT%	171,8%	171,8%	171,8%
FDI%	0,00%		

V1(V)	120,00	V
I1(A)	10,00	A

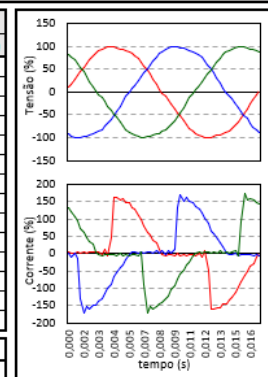
P1 (W)	1.199,96	1.199,96	1.199,96
Pt (W)	1.199,96	1.199,96	1.199,96

**MÓDULO VII - Circuito Dimmer em 90°**

**TESTE VII.6**

V	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00
3	0,06	-102,62	0,06	-102,62	0,06	-102,62
5	2,70	-228,34	2,70	-108,34	2,70	-348,34
7	0,41	-218,02	0,41	-338,02	0,41	-98,02
9	0,15	-279,13	0,15	-279,13	0,15	-279,13
11	0,55	-161,73	0,55	-41,73	0,55	-281,73
13	0,43	-195,44	0,43	-315,44	0,43	-75,44
15	0,04	-6,82	0,04	-6,82	0,04	-6,82
17	0,11	-57,51	0,11	62,49	0,11	-177,51
19	0,06	-188,63	0,06	-308,63	0,06	-68,63
21	0,03	-26,40	0,03	-26,40	0,03	-26,40
23	0,03	-198,47	0,03	-78,47	0,03	-318,47
25	0,00	15,89	0,00	-104,11	0,00	135,89
27	0,00	12,65	0,00	12,65	0,00	12,65

I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	-27,30	100,00	-147,30	100,00	92,70
3	51,41	-259,47	51,41	-259,47	51,41	100,53
5	17,78	-72,34	17,78	-312,34	17,78	167,66
7	14,82	-245,73	14,82	-5,73	14,82	234,27
9	10,92	-45,20	10,92	-45,20	10,92	314,80
11	9,36	-232,55	9,36	-112,55	9,36	7,45
13	6,85	-29,85	6,85	-149,85	6,85	90,15
15	6,77	-215,55	6,77	-215,55	6,77	144,45
17	5,63	-16,26	5,63	-256,26	5,63	223,74
19	5,10	-196,08	5,10	-316,08	5,10	283,92
21	4,87	-0,80	4,87	-0,80	4,87	359,20
23	3,92	-182,95	3,92	-62,95	3,92	57,05
25	3,83	-344,28	3,83	-104,28	3,83	135,72
27	3,61	-156,52	3,61	-156,52	3,61	203,48



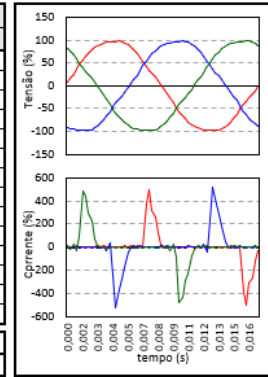
DTT%	2,8%	2,8%	2,8%
FDV%	0,00%		
FPd	0,89 (IND)	0,89 (IND)	0,89 (IND)

DTT%	60,0%	60,0%	60,0%
FDI%	0,00%		

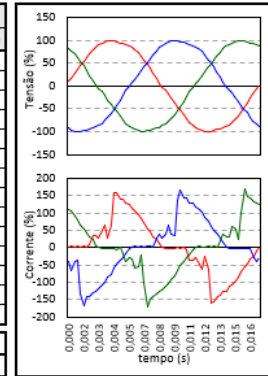
V1(V)	120,00	V
I1(A)	10,00	A

P1 (W)	1.066,30	1.066,30	1.066,30
Pt (W)	1.061,22	1.061,22	1.061,22

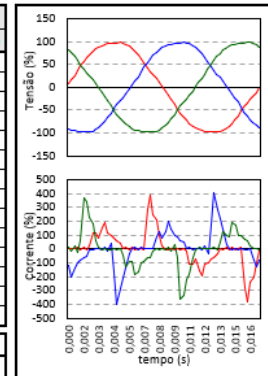
MÓDULO VII - Circuito Dimmer em 135°							TESTE VII.7						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	291,48	100,00	171,48	100,00	51,48
3	0,15	166,84	0,15	166,84	0,15	166,84	3	93,36	327,87	93,36	-32,13	93,36	327,87
5	2,88	217,83	2,88	337,83	2,88	97,83	5	81,64	7,97	81,64	-232,03	81,64	247,97
7	0,41	272,30	0,41	152,30	0,41	32,30	7	66,45	47,10	66,45	-72,90	66,45	167,10
9	0,10	235,49	0,10	235,49	0,10	235,49	9	49,82	93,38	49,82	-266,62	49,82	93,38
11	0,56	50,02	0,56	170,02	0,56	-69,98	11	35,14	142,64	35,14	-97,36	35,14	22,64
13	0,48	66,79	0,48	-53,21	0,48	186,79	13	24,41	202,60	24,41	-277,40	24,41	322,60
15	0,03	325,80	0,03	325,80	0,03	325,80	15	20,37	268,65	20,37	-91,35	20,37	268,65
17	0,11	217,06	0,11	337,06	0,11	97,06	17	21,19	335,49	21,19	-264,51	21,19	215,49
19	0,06	189,90	0,06	69,90	0,06	309,90	19	20,96	28,85	20,96	-91,15	20,96	148,85
21	0,03	11,77	0,03	11,77	0,03	11,77	21	18,97	81,10	18,97	-278,90	18,97	81,10
23	0,02	241,25	0,02	1,25	0,02	121,25	23	16,31	137,93	16,31	-102,07	16,31	17,93
25	0,04	178,14	0,04	58,14	0,04	298,14	25	14,32	193,58	14,32	-286,42	14,32	313,58
27	0,00	180,30	0,00	180,30	0,00	180,30	27	12,33	254,29	12,33	-105,71	12,33	254,29
DTT%	3,0%		3,0%		3,0%		DTI%	162,5%		162,5%		162,5%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	0,37 (CAP)		0,37 (CAP)		0,37 (IND)		P1 (W)	439,35		439,35		439,35	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	409,25		409,25		409,25	
I1(A)	10,00		A										



MÓDULO VII - Circuito Dimmer em 90° + Lâmpadas Diversas							TESTE VII.8						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	-20,06	100,00	-140,06	100,00	99,94
3	0,06	-102,62	0,06	-102,62	0,06	-102,62	3	35,35	-243,43	35,35	-243,43	35,35	116,57
5	2,70	-228,34	2,70	-108,34	2,70	-348,34	5	7,32	-58,87	7,32	-298,87	7,32	181,13
7	0,41	-218,02	0,41	-338,02	0,41	-98,02	7	10,60	-255,78	10,60	-15,78	10,60	224,22
9	0,15	-279,13	0,15	-279,13	0,15	-279,13	9	9,75	-54,72	9,75	-54,72	9,75	305,28
11	0,55	-161,73	0,55	-41,73	0,55	-281,73	11	7,81	-233,45	7,81	-113,45	7,81	6,55
13	0,43	-195,44	0,43	-315,44	0,43	-75,44	13	5,31	-46,92	5,31	-166,92	5,31	73,08
15	0,04	-6,82	0,04	-6,82	0,04	-6,82	15	7,31	-239,49	7,31	-239,49	7,31	120,51
17	0,11	-57,51	0,11	62,49	0,11	-177,51	17	7,94	-37,18	7,94	-277,18	7,94	202,82
19	0,06	-188,63	0,06	-308,63	0,06	-68,63	19	7,40	-193,08	7,40	-313,08	7,40	286,92
21	0,03	-26,40	0,03	-26,40	0,03	-26,40	21	5,54	-342,34	5,54	-342,34	5,54	17,66
23	0,03	-198,47	0,03	-78,47	0,03	-318,47	23	2,93	-151,74	2,93	-31,74	2,93	88,26
25	0,00	15,89	0,00	-104,11	0,00	135,89	25	2,21	-346,88	2,21	-106,88	2,21	133,12
27	0,00	12,65	0,00	12,65	0,00	12,65	27	2,56	-178,43	2,56	-178,43	2,56	181,57
DTT%	2,8%		2,8%		2,8%		DTI%	42,7%		42,7%		42,7%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	0,94 (IND)		0,94 (IND)		0,94 (IND)		P1 (W)	1.127,24		1.127,24		1.127,24	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.125,10		1.125,10		1.125,10	
I1(A)	10,00		A										



MÓDULO VII - Circuito Dimmer em 135° + Lâmpadas Diversas							TESTE VII.9						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	100,00	329,43	100,00	209,43	100,00	89,43
3	0,15	166,84	0,15	166,84	0,15	166,84	3	84,16	292,77	84,16	-67,23	84,16	292,77
5	2,88	217,83	2,88	337,83	2,88	97,83	5	69,95	29,42	69,95	-210,58	69,95	269,42
7	0,41	272,30	0,41	152,30	0,41	32,30	7	53,13	36,49	53,13	-83,51	53,13	156,49
9	0,10	235,49	0,10	235,49	0,10	235,49	9	36,94	91,98	36,94	-268,02	36,94	91,98
11	0,56	50,02	0,56	170,02	0,56	-69,98	11	26,18	141,14	26,18	-98,86	26,18	21,14
13	0,48	66,79	0,48	-53,21	0,48	186,79	13	25,66	199,10	25,66	-280,90	25,66	319,10
15	0,03	325,80	0,03	325,80	0,03	325,80	15	7,92	310,74	7,92	-49,26	7,92	310,74
17	0,11	217,06	0,11	337,06	0,11	97,06	17	25,87	315,75	25,87	-284,25	25,87	195,75
19	0,06	189,90	0,06	69,90	0,06	309,90	19	10,31	63,93	10,31	-56,07	10,31	183,93
21	0,03	11,77	0,03	11,77	0,03	11,77	21	22,49	71,60	22,49	-288,40	22,49	71,60
23	0,02	241,25	0,02	1,25	0,02	121,25	23	7,26	147,90	7,26	-92,10	7,26	27,90
25	0,04	178,14	0,04	58,14	0,04	298,14	25	14,68	185,19	14,68	-294,81	14,68	305,19
27	0,00	180,30	0,00	180,30	0,00	180,30	27	8,64	260,62	8,64	-99,38	8,64	260,62
DTT%	3,0%		3,0%		3,0%		DTI%	138,5%		138,5%		138,5%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	0,86 (CAP)		0,86 (CAP)		0,86 (IND)		P1 (W)	1.033,23		1.033,23		1.033,23	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	1.005,63		1.005,63		1.005,63	
I1(A)	10,00		A										

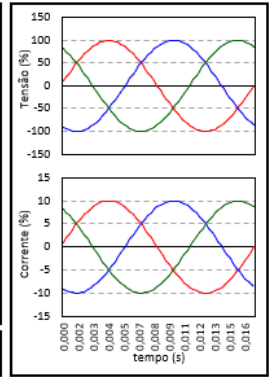


MÓDULO VIII - Circuito trifásico desequilibrado (sem harmônicas)							TESTE VIII.1								
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		Tensão (%)	Corrente (%)
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		
1	100,00	0,00	95,00	-115,00	105,00	125,00	1	100,00	-40,00	50,00	-150,00	25,00	75,00		
3							3								
5							5								
7							7								
9							9								
11							11								
13							13								
15							15								
17							17								
19							19								
21							21								
23							23								
25							25								
27							27								
DTI%		0,0%		0,0%		0,0%		DTI%		0,0%		0,0%			
FDV%				5,80%				FDI%		32,37%					
FPd		0,77 (IND)		0,82 (IND)		0,64 (IND)		P1 (W)		919,25		466,92		202,48	
V1(V)		120,00		V				Pt (W)		919,25		466,92		202,48	
I1(A)		10,00		A								1588,65			

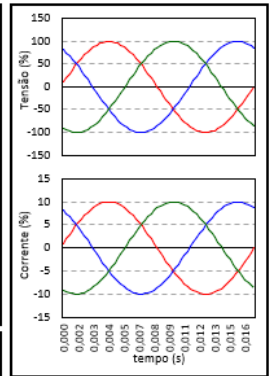
MÓDULO VIII - Circuito trifásico desequilibrado (sem harmônicas - falta de fase)							TESTE VIII.2								
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		Tensão (%)	Corrente (%)
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		
1	100,00	0,00	95,00	-115,00	105,00	125,00	1	100,00	-40,00	0,00	0,00	70,00	75,00		
3							3								
5							5								
7							7								
9							9								
11							11								
13							13								
15							15								
17							17								
19							19								
21							21								
23							23								
25							25								
27							27								
DTI%		0,0%		0,0%		0,0%		DTI%		0,0%		-		0,0%	
FDV%				5,80%				FDI%		48,80%					
FPd		0,77 (IND)		-0,42 (CAP)		0,64 (IND)		P1 (W)		919,25		0,00		566,94	
V1(V)		120,00		V				Pt (W)		919,25		0,00		566,94	
I1(A)		10,00		A								1486,19			

MÓDULO VIII - Circuito trifásico desequilibrado (com harmônicas)							TESTE VIII.3								
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C		Tensão (%)	Corrente (%)
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		
1	100,00	0,00	95,00	-115,00	105,00	125,00	1	100,00	-40,00	50,00	-150,00	5,00	75,00		
3	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00	3	10,00	3,00	10,00	10,00	2,00	5,00		
5	5,00	0,00	7,00	120,00	7,00	-120,00	5	40,00	60,00	15,00	180,00	3,00	-60,00		
7	5,00	0,00	7,00	-120,00	7,00	120,00	7	30,00	60,00	5,00	-60,00	1,00	180,00		
9							9								
11							11								
13							13								
15							15								
17							17								
19							19								
21							21								
23							23								
25							25								
27							27								
DTI%		7,3%		10,6%		9,6%		DTI%		51,0%		37,4%		74,8%	
FDV%				5,80%				FDI%		47,56%					
FPd		0,77 (IND)		0,82 (IND)		0,64 (IND)		P1 (W)		919,25		466,92		40,50	
V1(V)		120,00		V				Pt (W)		942,65		477,68		42,65	
I1(A)		10,00		A								1462,98			

MÓDULO VIII - Teste NBR 14520 (5.7.5) - Determinação de $eI$							TESTE VIII.4						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	-120,00	100,00	120,00	1	10,00	0,00	10,00	-120,00	10,00	120,00
3							3						
5							5						
7							7						
9							9						
11							11						
13							13						
15							15						
17							17						
19							19						
21							21						
23							23						
25							25						
27							27						
DTI%	0,0%		0,0%		0,0%		DTI%	0,0%		0,0%		0,0%	
FDV%	0,00%						FDI%	0,00%					
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	120,00		120,00		120,00	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	120,00		120,00		360,00	
I1(A)	10,00		A										



MÓDULO VIII - Teste NBR 14520 (5.7.5) - Sequência de fase invertida							TESTE VIII.5						
V	Fase A		Fase B		Fase C		I	Fase A		Fase B		Fase C	
	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)		Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)	Mag. (%)	Âng. (o)
1	100,00	0,00	100,00	120,00	100,00	-120,00	1	10,00	0,00	10,00	120,00	10,00	-120,00
3							3						
5							5						
7							7						
9							9						
11							11						
13							13						
15							15						
17							17						
19							19						
21							21						
23							23						
25							25						
27							27						
DTI%	0,0%		0,0%		0,0%		DTI%	0,0%		0,0%		0,0%	
FDV%	-						FDI%	-					
FPd	1,00		1,00		1,00		P1 (W)	120,00		120,00		120,00	
V1(V)	120,00		V				Pt (W)	120,00		120,00		360,00	
I1(A)	10,00		A										



# APÊNDICE III – Resumo dos resultados obtidos para os desvios de medição

Tabela 9 - Resumo dos desvios de medição para medidores eletromecânicos tomando como referência  $P_1$ .

Código	Desvio de medidores eletromecânicos (%) - Pref = P1																																				
	I.1	I.2	I.3	II.1	II.2	II.3	III.1	III.2	III.3	IV.1	IV.2	IV.3	V.1	V.2	V.3	VI.1	VI.2	VI.3	VII.1	VII.2	VII.3	VII.4	VII.5	VII.6	VII.7	VII.8	VII.9	VIII.1	VIII.2	VIII.3	VIII.4	VIII.5					
A.03 (120 V)	-0,86%	-1,66%	-0,95%	-0,76%	-1,55%	-0,81%	-0,90%	-1,29%	-0,81%	-0,68%	-0,66%	-0,76%	1,35%	-0,11%	0,81%	-2,65%	-1,20%	-2,29%	-1,12%	1,14%	-0,96%	-1,50%	-1,09%	-1,47%	104,81%	105,27%	105,29%										
A.05 (220 V)	1,37%	1,16%	1,42%	1,54%	1,40%	1,32%	1,16%	1,57%	0,91%	1,65%	1,60%	1,57%	3,64%	2,16%	2,78%	-0,54%	1,13%	0,18%	1,52%	3,70%	1,44%	1,63%	0,91%	1,22%	2,63%	1,30%	1,28%										
A.06 (240 V)	0,28%	-0,57%	0,17%	0,27%	-0,63%	0,26%	0,88%	0,44%	1,31%	0,42%	0,39%	0,37%	2,50%	1,28%	2,01%	2,01%	-0,35%	-0,91%	-0,46%	2,13%	0,38%	-0,72%	0,50%	-0,69%	3,46%	-0,22%	2,24%										
A.07 (120 V)	-0,13%	0,20%	-0,42%	-0,08%	0,37%	-0,04%	0,26%	1,22%	0,05%	-0,15%	-0,12%	-0,16%	2,03%	0,64%	1,26%	-2,06%	-0,95%	-1,40%	-0,19%	1,92%	0,00%	0,00%	0,11%	0,20%	5,16%	-0,38%	1,25%										
B.06 (120 V)	-0,70%	-0,12%	-0,91%	-0,70%	-0,09%	-0,73%	-0,62%	0,00%	-0,45%	-0,69%	-0,71%	-0,72%	1,52%	0,50%	0,51%	-2,47%	-1,34%	-1,63%	-0,49%	1,63%	-0,61%	-0,40%	-0,79%	-0,24%	0,79%	-0,66%	-0,56%										
B.10 (240 V)	-0,24%	-0,15%	-0,08%	-0,27%	-0,15%	-0,37%	-0,32%	-0,44%	-0,18%	-0,22%	-0,17%	-0,22%	1,87%	0,70%	0,98%	-6,65%	-1,32%	-1,56%	0,18%	2,22%	-0,18%	-0,48%	-0,16%	-0,25%	-0,65%	-0,43%	-1,81%										
B.11 (120 V)	2,35%	4,75%	2,64%	2,39%	4,91%	2,30%	2,43%	4,91%	2,87%	2,28%	2,36%	2,29%	4,41%	3,15%	3,43%	0,23%	1,37%	1,15%	4,71%	6,78%	2,50%	4,74%	2,57%	3,35%	5,79%	2,58%	1,67%										
B.12 (120 V)	-0,43%	-0,66%	-0,44%	-0,55%	-0,82%	-0,68%	-0,66%	-0,85%	-0,29%	-0,52%	-0,42%	-0,43%	1,49%	0,17%	0,77%	-2,48%	-1,23%	-1,78%	-0,23%	1,92%	-0,33%	0,34%	-0,26%	0,09%	0,46%	-0,29%	-1,46%										
E.01 (120 V)	0,05%	-0,82%	0,34%	0,30%	-0,77%	0,29%	0,09%	-0,70%	-0,04%	0,27%	0,27%	0,27%	2,05%	1,09%	1,21%	-1,36%	-0,49%	-0,53%	-0,03%	1,82%	0,34%	-0,93%	0,62%	0,05%	1,53%	-0,44%	0,22%										
E.04 (240 V)	-0,84%	0,42%	-1,62%	-0,74%	0,48%	-0,80%	-0,90%	0,49%	-1,71%	-0,83%	-0,84%	-0,84%	0,84%	0,15%	0,02%	-2,30%	-1,56%	-1,45%	-0,98%	0,80%	-0,73%	0,40%	-0,50%	-0,37%	0,83%	-0,83%	-0,57%										
F.01 (240 V)	3,36%	2,91%	3,14%	3,55%	3,52%	3,41%	3,80%	4,01%	3,91%	3,49%	3,67%	3,45%	5,47%	4,14%	4,84%	1,43%	2,79%	2,09%	3,42%	5,32%	3,73%	2,66%	4,09%	4,19%	5,51%	3,30%	2,76%										
F.02 (240 V)	1,37%	2,06%	0,86%	1,50%	2,17%	1,35%	0,74%	1,89%	-0,13%	1,33%	1,38%	1,37%	2,67%	1,74%	2,26%	-0,06%	0,91%	0,39%	1,15%	2,24%	1,58%	1,99%	2,13%	2,40%	3,34%	1,87%	-1,73%										
F.03 (240 V)	4,36%	3,60%	3,84%	4,32%	3,30%	4,09%	4,49%	3,46%	4,07%	4,05%	4,19%	4,09%	6,20%	4,68%	5,40%	2,39%	3,48%	3,19%	4,31%	5,75%	4,28%	3,07%	5,09%	4,14%	6,20%	4,01%	3,37%										
F.04 (120 V)	3,45%	4,03%	3,81%	3,62%	4,43%	3,42%	4,22%	5,16%	4,55%	3,73%	3,98%	3,73%	5,27%	4,33%	4,51%	2,07%	3,09%	2,70%	4,26%	5,65%	4,26%	3,33%	4,70%	5,29%	11,89%	3,47%	4,14%										
F.05 (120 V)	2,27%	1,50%	2,38%	2,25%	1,23%	2,56%	3,33%	2,69%	3,57%	2,51%	2,73%	2,49%	4,87%	7,03%	4,20%	0,58%	1,87%	1,78%	1,43%	3,67%	2,67%	0,98%	3,81%	3,92%	8,24%	2,36%	2,71%	0,37%	2,00%	1,64%	7,86%	-4,07%					
F.06 (120 V)	0,62%	0,94%	0,25%	0,74%	1,13%	0,63%	0,79%	1,77%	0,58%	0,64%	0,74%	0,66%	2,69%	1,44%	1,97%	-1,31%	-0,03%	-0,57%	0,52%	2,39%	0,94%	0,55%	1,64%	1,55%	5,01%	0,74%	0,13%										
H.01 (120 V)	1,02%	2,15%	0,41%	0,80%	1,87%	0,53%	0,45%	-5,03%	0,23%	0,78%	0,61%	0,47%	2,68%	1,62%	1,65%	-1,55%	-0,60%	-0,64%	1,13%	3,46%	0,77%	1,95%	0,67%	1,10%	1,90%	0,87%	-0,49%										
H.02 (240 V)	-0,23%	0,00%	-0,14%	0,17%	0,07%	0,12%	0,34%	-0,28%	0,26%	0,01%	0,13%	0,10%	1,61%	0,92%	0,91%	-1,29%	-0,53%	-0,57%	-0,07%	1,16%	0,31%	-0,30%	0,33%	1,21%	0,82%	0,35%	-2,50%										
J.01 (120 V)	-0,51%	-1,19%	-0,38%	-0,54%	-1,35%	-0,26%	-0,13%	-1,18%	0,22%	-0,19%	-0,19%	-0,17%	2,08%	1,07%	0,99%	-2,16%	-1,12%	-1,08%	-0,57%	1,58%	-0,05%	-1,57%	-0,42%	-0,36%	-0,99%	-0,37%	-1,34%										
J.02 (240 V)	-0,47%	-0,63%	-0,55%	-0,37%	-0,73%	-0,48%	-0,37%	-0,69%	-0,30%	-0,42%	-0,44%	-0,46%	1,81%	0,78%	0,69%	-2,55%	-1,49%	-1,43%	-0,56%	1,59%	-0,25%	-0,77%	-0,57%	-0,39%	-0,93%	-0,46%	-1,37%										
J.03 (120 V)	0,14%	0,97%	-0,06%	0,07%	0,97%	-0,16%	-0,19%	0,72%	-0,11%	-0,14%	-0,03%	0,02%	1,99%	0,80%	0,92%	-2,16%	-1,01%	-1,36%	0,54%	2,45%	-0,05%	0,54%	0,05%	0,18%	1,18%	-0,20%	-1,18%										
K.01 (240 V)	0,37%	-0,12%	0,79%	0,42%	-0,15%	0,14%	0,45%	-0,84%	1,80%	0,43%	0,38%	0,10%	2,81%	1,84%	1,57%	-1,33%	-0,37%	-0,48%	-0,02%	2,62%	0,08%	-0,29%	0,44%	0,39%	-2,30%	0,37%	-0,73%										
K.02 (120 V)	1,60%	1,21%	1,26%	1,50%	1,36%	1,18%	1,26%	1,16%	1,45%	1,26%	1,28%	1,12%	3,53%	2,22%	2,60%	-1,06%	0,25%	-0,12%	1,04%	3,25%	1,39%	1,07%	1,74%	1,74%	1,59%	1,33%	-0,05%										
K.03 (120 V)	1,28%	-1,77%	1,99%	2,08%	-1,47%	2,10%	2,43%	-0,94%	3,05%	1,96%	2,03%	2,16%	4,90%	3,31%	3,66%	-0,78%	0,75%	0,52%	0,10%	3,11%	2,17%	-1,41%	2,26%	1,73%	0,11%	1,53%	-0,71%	-0,12%	-0,53%	1,24%	-2,78%	-4,74%					
L.01 (120 V)	1,27%	-0,50%	0,49%	1,22%	-0,42%	1,10%	1,23%	-0,16%	0,71%	1,19%	1,41%	1,04%	2,66%	1,60%	1,99%	7,73%	0,24%	0,01%	-0,93%	0,55%	1,39%	-1,26%	1,91%	1,77%	3,77%	0,90%	0,26%										
L.02 (120 V)	3,45%	2,47%	3,69%	3,51%	2,37%	3,47%	3,98%	3,17%	4,71%	3,71%	3,95%	3,72%	6,04%	4,93%	5,14%	1,39%	2,71%	2,65%	2,65%	4,78%	3,55%	1,66%	4,90%	4,95%	8,36%	3,40%	3,15%	-0,27%	-0,18%	1,35%	-0,72%	3,31%					
M.01 (120 V)	5,55%	8,38%	6,30%	5,64%	8,31%	5,44%	5,91%	8,91%	7,23%	5,56%	5,64%	5,53%	7,88%	6,76%	6,77%	3,51%	4,76%	4,57%	7,69%	10,05%	6,00%	8,02%	5,68%	6,92%	11,80%	5,72%	5,85%										
M.02 (120 V)	2,94%	-1,05%	2,61%	2,94%	-1,04%	2,77%	3,33%	-0,55%	3,42%	2,65%	2,70%	2,66%	5,60%	3,80%	4,45%	-0,25%	1,49%	1,07%	-0,35%	2,76%	3,21%	-1,77%	2,88%	1,58%	1,95%	1,67%	0,68%	-0,15%	1,26%	1,28%	-5,05%	-5,43%					



Tabela 10 - Resumo dos desvios de medição para medidores eletromecânicos tomando como referência P.

Código	Desvio de medidores eletromecânicos (%) - Pref = P																															
	I.1	I.2	I.3	II.1	II.2	II.3	III.1	III.2	III.3	IV.1	IV.2	IV.3	V.1	V.2	V.3	VI.1	VI.2	VI.3	VII.1	VII.2	VII.3	VII.4	VII.5	VII.6	VII.7	VII.8	VII.9	VIII.1	VIII.2	VIII.3	VIII.4	VIII.5
A.03 (120 V)	-0,87%	-1,66%	-0,95%	-0,76%	-1,55%	-0,80%	-0,91%	-1,29%	-0,82%	-0,69%	-0,65%	-0,76%	-2,73%	-2,20%	-1,25%	1,63%	0,95%	-0,20%	-1,12%	-2,71%	-1,04%	-1,50%	-1,21%	-1,47%	104,56%	105,51%	109,23%					
A.05 (220 V)	1,38%	1,16%	1,41%	1,54%	1,39%	1,30%	1,16%	1,57%	0,90%	1,65%	1,62%	1,60%	4,00%	0,04%	0,67%	3,84%	3,33%	2,31%	1,51%	-0,25%	1,34%	1,61%	0,87%	1,22%	2,38%	1,47%	3,25%					
A.06 (240 V)	0,27%	-0,57%	0,17%	0,26%	-0,62%	0,26%	0,88%	0,44%	1,31%	0,42%	0,40%	0,37%	-1,65%	-0,83%	-0,08%	6,49%	1,81%	1,20%	-0,46%	-1,76%	0,28%	-0,74%	0,45%	-0,51%	3,41%	-0,09%	4,22%					
A.07 (120 V)	-0,12%	0,21%	-0,42%	-0,10%	0,36%	-0,06%	0,25%	1,21%	0,04%	-0,16%	-0,12%	-0,17%	-2,10%	-1,45%	-0,81%	2,25%	1,21%	0,69%	-0,20%	-1,96%	-0,03%	-0,03%	0,05%	0,20%	4,75%	-0,25%	3,22%					
B.06 (120 V)	-0,70%	-0,12%	-0,90%	-0,70%	-0,09%	-0,73%	-0,63%	0,00%	-0,45%	-0,69%	-0,70%	-0,72%	-2,59%	-1,58%	-1,54%	1,82%	0,82%	0,45%	-0,48%	-2,24%	-0,68%	-0,43%	-0,68%	-0,24%	0,80%	-0,53%	1,37%					
B.10 (240 V)	-0,24%	-0,15%	-0,09%	-0,28%	-0,16%	-0,38%	-0,31%	-0,44%	-0,18%	-0,23%	-0,17%	-0,23%	-2,24%	-1,40%	-1,08%	-2,57%	0,82%	0,52%	0,18%	-1,67%	-0,28%	-0,51%	-0,10%	-0,25%	-0,29%	-0,29%	0,08%					
B.11 (120 V)	2,35%	4,75%	2,64%	2,40%	4,91%	2,29%	2,43%	4,91%	2,86%	2,27%	2,36%	2,30%	0,18%	1,00%	1,33%	4,65%	3,57%	3,32%	4,71%	2,72%	2,42%	4,72%	2,71%	3,43%	5,61%	2,72%	3,64%					
B.12 (120 V)	-0,43%	-0,66%	-0,45%	-0,56%	-0,82%	-0,69%	-0,67%	-0,85%	-0,30%	-0,52%	-0,42%	-0,44%	-2,59%	-1,91%	-1,29%	1,82%	0,91%	0,32%	-0,23%	-1,96%	-0,42%	0,30%	-0,10%	0,11%	0,50%	-0,16%	0,43%					
E.01 (120 V)	0,06%	-0,82%	0,32%	0,29%	-0,77%	0,30%	0,09%	-0,70%	-0,04%	0,27%	0,27%	0,27%	-2,08%	-1,02%	-0,88%	2,97%	1,66%	1,59%	-0,04%	-2,07%	0,24%	-0,94%	0,75%	0,06%	1,56%	-0,31%	2,16%					
E.04 (240 V)	-0,84%	0,42%	-1,62%	-0,74%	0,48%	-0,80%	-0,89%	0,50%	-1,71%	-0,83%	-0,84%	-0,83%	-3,24%	-1,93%	-2,02%	2,00%	0,58%	0,65%	-0,98%	-3,03%	-0,84%	0,35%	-0,43%	-0,37%	1,05%	-12,38%	1,34%					
F.01 (240 V)	3,35%	2,91%	3,14%	3,53%	3,52%	3,41%	3,78%	4,00%	3,91%	3,49%	3,66%	3,45%	1,21%	1,98%	2,70%	5,90%	5,02%	4,25%	3,42%	1,32%	3,64%	2,63%	4,17%	4,01%	6,17%	3,44%	4,70%					
F.02 (240 V)	1,37%	2,06%	0,85%	1,49%	2,17%	1,33%	0,73%	1,89%	-0,13%	1,33%	1,38%	1,37%	-1,49%	-0,38%	0,16%	4,33%	3,10%	2,53%	1,15%	-1,67%	1,47%	1,95%	2,21%	2,46%	3,52%	2,00%	0,18%					
F.03 (240 V)	4,36%	3,57%	3,84%	4,32%	3,30%	4,09%	4,48%	3,45%	4,07%	4,04%	4,19%	4,10%	1,90%	2,49%	3,26%	6,89%	5,74%	5,39%	4,30%	1,72%	4,20%	3,06%	5,15%	4,15%	6,22%	4,15%	5,37%					
F.04 (120 V)	3,44%	4,02%	3,82%	3,63%	4,43%	3,42%	4,21%	5,16%	4,53%	3,72%	3,97%	3,74%	1,02%	2,15%	2,36%	6,55%	5,34%	4,91%	4,27%	1,64%	4,18%	3,31%	4,72%	5,30%	11,93%	3,60%	6,15%					
F.05 (120 V)	2,27%	1,50%	2,38%	2,24%	1,23%	2,57%	3,34%	2,69%	3,57%	2,51%	2,72%	2,48%	0,63%	4,78%	2,08%	5,01%	4,09%	3,96%	1,44%	-0,26%	2,58%	0,95%	3,94%	3,93%	8,26%	2,51%	4,70%	0,37%	2,00%	-0,88%	7,86%	-4,07%
F.06 (120 V)	0,62%	0,94%	0,24%	0,75%	1,13%	0,63%	0,78%	1,77%	0,58%	0,63%	0,74%	0,65%	-1,47%	-0,67%	-0,12%	3,04%	2,14%	1,56%	0,51%	-1,50%	0,85%	0,53%	1,75%	1,56%	5,05%	0,87%	2,07%					
H.01 (120 V)	1,02%	2,15%	0,41%	0,80%	1,87%	0,52%	0,44%	5,03%	0,53%	0,78%	0,61%	0,47%	-1,46%	-0,49%	-0,43%	2,78%	1,57%	1,47%	1,13%	-0,47%	0,68%	1,92%	0,82%	1,17%	1,45%	1,02%	1,42%					
H.02 (240 V)	-0,23%	0,00%	-0,14%	0,17%	0,06%	0,11%	0,33%	-0,29%	0,26%	0,01%	0,13%	0,10%	-2,48%	-1,18%	-1,15%	3,06%	1,63%	1,56%	-0,07%	-2,69%	0,22%	-0,34%	0,42%	1,19%	0,59%	0,50%	-0,62%					
J.01 (120 V)	-0,51%	-1,20%	-0,37%	-0,53%	-1,37%	-0,25%	-0,13%	-1,18%	0,22%	-0,20%	-0,18%	-0,17%	-2,04%	-1,03%	-1,06%	2,14%	1,03%	1,02%	-0,58%	-2,29%	-0,15%	-1,57%	-0,30%	-0,35%	-0,97%	-0,24%	0,56%					
J.02 (240 V)	-0,48%	-0,63%	-0,56%	-0,38%	-0,73%	-0,48%	-0,37%	-0,69%	-0,30%	-0,42%	-0,44%	-0,45%	-2,31%	-1,31%	-1,37%	1,74%	0,66%	0,67%	-0,57%	-2,27%	-0,33%	-0,79%	-0,50%	-0,39%	-0,91%	-0,33%	0,54%					
J.03 (120 V)	0,12%	0,97%	-0,06%	0,07%	0,97%	-0,16%	-0,19%	0,71%	-0,13%	-0,14%	-0,02%	0,02%	-2,13%	-1,29%	-1,15%	2,14%	1,14%	0,74%	0,52%	-1,44%	-0,13%	0,51%	0,20%	0,12%	1,11%	-0,06%	0,73%					
K.01 (240 V)	0,37%	-0,12%	0,78%	0,41%	-0,15%	0,14%	0,43%	-0,84%	1,79%	0,44%	0,38%	0,10%	-1,34%	-0,27%	-0,52%	3,00%	1,80%	1,64%	-0,02%	-1,28%	-0,02%	-0,32%	0,51%	0,40%	-2,29%	0,50%	1,19%					
K.02 (120 V)	1,59%	1,21%	1,26%	1,48%	1,36%	1,15%	1,25%	1,15%	1,44%	1,26%	1,28%	1,12%	-0,67%	0,09%	0,50%	3,29%	2,43%	2,01%	1,04%	-0,68%	1,31%	1,05%	1,86%	1,75%	1,52%	1,46%	1,88%					
K.03 (120 V)	1,28%	-1,77%	1,98%	2,08%	-1,47%	2,10%	2,42%	-0,94%	3,03%	1,96%	2,03%	2,15%	0,66%	1,16%	1,54%	3,59%	2,94%	2,66%	0,09%	-0,82%	2,08%	-1,46%	2,39%	1,62%	-0,07%	1,68%	1,22%	-0,12%	-0,53%	-1,27%	-2,78%	-4,74%
L.01 (120 V)	1,28%	-0,50%	0,49%	1,21%	-0,42%	1,09%	1,23%	-0,17%	0,71%	1,18%	1,40%	1,04%	-1,49%	-0,52%	-0,10%	12,47%	2,42%	2,14%	-0,93%	-3,27%	1,29%	-1,30%	2,05%	1,78%	3,79%	-7,21%	2,19%					
L.02 (120 V)	3,44%	2,47%	3,70%	3,49%	2,37%	3,48%	3,96%	3,15%	4,71%	3,71%	3,94%	3,71%	1,75%	2,75%	3,00%	5,86%	4,94%	4,84%	2,65%	0,78%	3,45%	1,64%	4,99%	4,97%	8,43%	3,56%	5,15%	-0,27%	-0,18%	-1,16%	-0,72%	3,31%
M.01 (120 V)	5,53%	8,34%	6,30%	5,63%	8,31%	5,44%	5,91%	8,89%	7,23%	5,56%	5,64%	5,52%	3,51%	4,53%	4,59%	8,06%	7,05%	6,82%	7,69%	5,86%	5,89%	8,02%	5,70%	6,91%	11,86%	5,88%	7,91%					
M.02 (120 V)	2,94%	-1,05%	2,61%	2,94%	-1,07%	2,77%	3,31%	-0,56%	3,40%	2,65%	2,69%	2,64%	1,32%	1,63%	2,31%	4,14%	3,69%	3,22%	-0,35%	-1,16%	3,13%	-1,80%	2,95%	1,54%	2,02%	1,80%	2,62%	-0,15%	1,26%	-1,23%	-5,05%	-5,43%

Tabela 11 - Resumo dos desvios de medição para medidores eletrônicos tomando como referência  $P_1$ .

Desvio de medidores eletrônicos (%) - Pref = P1																																
Código	I.1	I.2	I.3	II.1	II.2	II.3	III.1	III.2	III.3	IV.1	IV.2	IV.3	V.1	V.2	V.3	VI.1	VI.2	VI.3	VII.1	VII.2	VII.3	VII.4	VII.5	VII.6	VII.7	VII.8	VII.9	VIII.1	VIII.2	VIII.3	VIII.4	VIII.5
A.01 (120 V)	-0,19%	-0,15%	-0,08%	-0,15%	-0,38%	-0,28%	-0,05%	-0,18%	-0,21%	-0,22%	-0,21%	-0,22%	3,69%	1,83%	1,77%	-4,10%	-2,18%	-2,07%	0,07%	3,85%	-0,03%	-0,46%	-0,01%	-0,09%	0,17%	-0,22%	-1,93%					
A.01 (240 V)	0,06%	-0,02%	-0,01%	0,04%	-0,01%	0,06%	0,00%	0,02%	0,04%	0,10%	0,08%	0,08%	4,00%	2,09%	1,99%	-3,86%	-1,91%	0,08%	0,18%	3,93%	0,21%	0,10%	0,18%	0,05%	-0,25%	0,00%	-1,67%					
A.02 (120 V)	-0,03%	0,07%	-0,08%	-0,02%	0,07%	-0,02%	-0,05%	0,43%	-0,06%	0,01%	-0,01%	-0,01%	4,32%	2,22%	2,18%	-4,18%	-2,17%	-2,12%	0,06%	4,03%	0,09%	0,06%	-1,09%	0,18%	0,85%	-0,02%	-7,44%	0,15%	0,08%	2,17%	-0,61%	-0,54%
A.02 (240 V)	0,22%	0,52%	0,08%	0,23%	0,52%	0,23%	0,22%	0,49%	0,06%	0,20%	0,19%	0,19%	4,41%	2,32%	2,27%	-4,07%	-1,98%	-1,92%	0,22%	4,21%	0,28%	0,47%	-0,95%	0,29%	0,17%	0,15%	-1,63%	0,27%	0,21%	2,29%	-0,06%	-0,01%
A.04 (240 V)	0,18%	-0,28%	0,31%	0,18%	-0,31%	0,18%	0,14%	-0,31%	0,32%	0,19%	0,18%	0,18%	4,34%	2,22%	2,27%	-4,01%	-1,90%	-1,95%	0,21%	4,10%	0,26%	-0,25%	0,22%	-0,13%	-0,89%	-0,01%	-1,86%					
B.01 (120 V)	-0,72%	-0,83%	-0,06%	-0,23%	-0,57%	-0,08%	-0,09%	-0,44%	0,30%	0,07%	0,00%	0,06%	3,97%	2,01%	2,02%	-3,82%	-1,97%	-1,96%	-0,16%	3,59%	0,14%	-0,69%	-0,07%	-0,37%	39,65%	0,00%	-2,29%					
B.01 (240 V)	-0,07%	-0,08%	0,00%	0,08%	-0,02%	0,07%	0,08%	-0,31%	0,48%	0,07%	0,07%	0,37%	4,06%	2,03%	2,02%	-3,63%	-1,94%	-1,80%	0,23%	4,07%	0,08%	0,10%	0,06%	-0,12%	40,15%	0,28%	-2,40%					
B.02 (120 V)	0,44%	-0,26%	0,41%	0,50%	-0,21%	0,34%	0,34%	-0,34%	0,32%	0,40%	0,43%	0,35%	4,54%	2,37%	2,39%	-3,86%	-1,68%	-1,73%	0,13%	4,17%	0,55%	-0,15%	-3,77%	0,19%	-0,69%	0,38%	-1,48%					
B.03 (240 V)	0,39%	0,25%	0,37%	0,35%	0,25%	0,35%	0,34%	0,23%	0,41%	0,39%	0,35%	0,33%	3,46%	1,92%	1,90%	-2,70%	-1,24%	-1,20%	0,42%	3,62%	0,38%	0,13%	0,37%	0,05%	-2,39%	0,19%	-0,94%					
B.04 (240 V)	0,24%	0,02%	0,25%	0,23%	0,03%	0,23%	0,23%	-0,04%	0,20%	0,23%	0,22%	0,24%	3,30%	1,72%	1,82%	-2,90%	-1,29%	-1,40%	0,20%	3,37%	0,30%	0,05%	-0,27%	0,20%	-1,24%	0,10%	-15,53%					
B.05 (240 V)	0,75%	0,45%	0,62%	0,75%	0,43%	0,76%	0,68%	0,25%	0,53%	0,63%	0,73%	0,72%	3,79%	2,42%	2,21%	-2,40%	-0,98%	-0,82%	0,51%	3,66%	0,94%	0,37%	0,56%	0,03%	-7,66%	0,22%	-1,08%					
B.07 (120 V)	0,24%	-0,48%	0,14%	0,01%	-0,64%	0,24%	0,16%	-0,59%	0,68%	0,23%	0,02%	0,38%	4,14%	2,19%	2,12%	-3,81%	-1,72%	-1,80%	0,09%	4,08%	0,24%	-0,51%	0,25%	0,17%	36,70%	0,44%	0,23%	-0,36%	-0,62%	1,59%	-0,06%	-0,04%
B.07 (240 V)	0,08%	-0,15%	0,49%	0,09%	-0,16%	0,39%	0,39%	-0,14%	0,73%	0,68%	0,39%	0,38%	4,39%	2,34%	2,35%	-3,60%	-1,53%	-1,51%	0,39%	4,17%	0,24%	-0,17%	0,41%	0,40%	49,37%	0,32%	0,08%	-0,74%	-0,09%	2,03%	0,20%	0,07%
B.08 (120 V)	-0,45%	-0,23%	-0,53%	-0,42%	-0,31%	-0,43%	-0,21%	-0,54%	-0,41%	-0,44%	-0,42%	-0,42%	3,73%	1,70%	1,60%	-4,61%	-2,57%	-2,46%	-0,39%	3,53%	-0,34%	-0,20%	-0,42%	-0,33%	-0,25%	-0,51%	-2,26%					
B.09 (120 V)	0,68%	0,19%	0,59%	0,66%	0,22%	0,57%	0,64%	0,04%	0,50%	0,56%	0,62%	0,57%	3,54%	2,04%	1,99%	-2,64%	-1,07%	-1,06%	0,27%	-6,30%	0,73%	0,15%	-0,24%	0,22%	-2,37%	0,21%	-1,23%					
C.01 (240 V)	0,18%	0,14%	0,24%	0,17%	-0,44%	0,08%	0,06%	-0,29%	0,25%	0,15%	0,17%	0,09%	4,26%	2,17%	2,22%	-4,02%	-1,92%	-2,01%	0,09%	3,81%	0,26%	-0,23%	-0,27%	3,36%	-2,27%	-2,21%	5,99%	-0,25%	-0,26%	1,51%	0,01%	-0,02%
C.02 (120 V)	-0,13%	-0,59%	-0,13%	-0,17%	-0,68%	-0,40%	-0,31%	-0,43%	-0,03%	-0,23%	-0,14%	-0,51%	3,74%	1,77%	1,80%	-4,30%	-2,36%	-2,35%	-0,05%	3,80%	0,01%	0,09%	-3,13%	-0,26%	-0,32%	0,59%	-1,53%	-0,36%	-0,33%	1,62%	-0,11%	-0,11%
C.02 (240 V)	0,12%	-0,39%	0,13%	0,11%	-0,32%	0,05%	0,04%	-0,15%	0,14%	0,12%	0,13%	0,10%	4,22%	2,13%	2,14%	-4,06%	-1,99%	-2,00%	0,11%	4,03%	0,21%	0,20%	-1,85%	1,73%	3,33%	0,18%	-0,35%	-0,20%	-0,11%	1,75%	0,11%	-0,02%
C.03 (120 V)	-0,34%	0,73%	-0,67%	-0,31%	0,24%	-0,67%	-0,55%	0,46%	-1,00%	-0,37%	-0,38%	-0,60%	3,46%	1,64%	1,59%	-4,47%	-2,64%	-2,51%	-0,27%	3,58%	-0,47%	0,12%	-1,15%	-1,36%	-1,57%	-0,32%	-3,33%					
C.04 (120 V)	-0,12%	-0,43%	-0,11%	0,43%	-0,15%	0,43%	-0,15%	-0,16%	0,98%	-0,09%	-0,17%	-0,16%	4,05%	2,04%	1,86%	-4,35%	4,19%	-2,15%	-0,08%	3,79%	-0,08%	0,52%	-0,18%	-0,10%	0,51%	-0,15%	-1,78%					
C.05 (120 V)	0,12%	-0,23%	0,08%	0,11%	-0,09%	0,08%	0,09%	-0,15%	0,04%	0,08%	0,08%	0,06%	4,21%	2,23%	2,07%	-4,07%	-2,08%	-1,92%	-0,09%	3,92%	0,18%	-0,10%	0,07%	-2,10%	-0,14%	-0,34%	-1,49%					
C.06 (240 V)	0,24%	0,18%	0,22%	0,22%	0,18%	0,22%	0,20%	0,16%	0,20%	0,21%	0,20%	0,21%	4,39%	2,32%	2,26%	-3,96%	-1,90%	-1,85%	0,22%	4,14%	0,31%	0,22%	0,21%	0,18%	0,30%	0,06%	-2,20%					
C.07 (240 V)	-0,59%	-0,63%	-0,56%	-0,56%	-0,55%	-0,53%	-0,56%	-0,51%	-0,51%	-0,52%	-0,50%	-0,50%	3,64%	1,62%	1,50%	-4,68%	-2,67%	-2,54%	-0,49%	3,43%	-0,42%	-0,17%	-0,50%	-0,61%	-0,50%	-0,49%	-1,81%					
C.08 (120 V)	-0,09%	-0,63%	-0,13%	-0,08%	-0,10%	-0,08%	-0,12%	-0,16%	-0,17%	-0,06%	-0,06%	-0,06%	4,11%	2,08%	1,94%	-4,24%	-2,24%	-2,11%	-0,37%	3,75%	0,01%	-0,17%	-0,07%	-0,19%	-0,13%	-0,17%	-2,01%					
D.01 (120 V)	0,10%	-0,58%	0,13%	0,10%	-0,60%	0,09%	0,03%	-0,61%	0,14%	0,10%	0,09%	0,10%	3,99%	2,00%	2,05%	-3,90%	-1,90%	-1,94%	0,13%	3,87%	0,16%	-0,36%	-0,88%	0,05%	-9,42%	-0,04%	-1,83%	-0,18%	-0,30%	1,29%	-0,34%	-0,29%
D.01 (240 V)	0,09%	0,02%	0,28%	0,21%	0,01%	0,21%	0,19%	-0,01%	0,25%	0,20%	0,19%	0,20%	4,13%	2,13%	2,17%	-3,74%	-1,77%	-1,81%	0,26%	4,01%	0,28%	0,01%	-0,81%	0,22%	0,33%	0,05%	-1,68%	-1,19%	0,22%	2,00%	-0,28%	-0,35%
D.02 (120 V)	0,01%	-0,35%	0,05%	0,01%	-0,43%	0,02%	0,01%	-0,43%	0,06%	0,02%	0,01%	0,01%	4,21%	2,20%	2,01%	-4,18%	-2,18%	-2,00%	-0,15%	3,81%	0,11%	-0,37%	0,03%	0,03%	-0,38%	-0,16%	-2,02%					
D.02 (240 V)	0,07%	-0,06%	0,11%	0,07%	-0,06%	0,07%	0,06%	-0,07%	0,11%	0,07%	0,07%	0,07%	4,26%	2,26%	2,07%	-4,14%	-2,13%	-1,93%	0,09%	4,04%	0,18%	-0,02%	0,07%	0,05%	-0,27%	-0,07%	-1,93%					
D.03 (240 V)	0,99%	2,75%	0,08%	0,90%	2,71%	0,89%	0,88%	2,69%	0,11%	0,80%	0,79%	0,90%	4,75%	3,04%	2,59%	-3,03%	-1,29%	-0,85%	0,76%	4,40%	0,95%	2,44%	0,85%	1,61%	2,49%	1,13%	-0,34%					
D.04 (120 V)	0,22%	-1,45%	0,23%	0,22%	-1,44%	0,20%	0,18%	-1,87%	0,20%	0,22%	0,22%	0,23%	4,15%	2,17%	2,19%	-3,75%	-1,77%	-1,79%	-0,96%	2,58%	0,30%	-2,69%	-0,79%	0,12%	-0,46%	-0,01%	-1,85%					
D.05 (120 V)	0,28%	0,34%	0,23%	0,28%	0,32%	0,27%	0,26%	0,29%	0,23%	0,27%	0,27%	0,27%	4,17%	2,22%	2,18%	-3,67%	-1,74%	-1,71%	0,01%	4,03%	0,35%	0,31%	-0,20%	0,33%	0,03%	0,14%	-1,52%					
D.05 (240 V)	0,35%	0,47%	0,30%	0,36%	0,45%	0,35%	0,33%	0,42%	0,28%	0,35%	0,36%	0,36%	4,26%	2,31%	2,29%	-3,58%	-1,65%	-1,60%	0,37%	4,12%	0,44%	0,44%	-0,15%	0,39%	0,52%	0,23%	-1,44%					
E.02 (120 V)	-0,52%	-0,98%	-0,49%	-0,23%	-1,02%	-0,11%	-0,25%	-1,02%	-0,51%	-0,15%	-0,39%	-0,19%	3,94%	2,20%	1,64%	-4,33%	-2,53%	-1,97%	-0,34%	3,68%	-0,08%	-2,69%	-0,66%	-0,50%	-0,97%	-0,57%	-12,41%					
E.03 (120 V)	-0,14%	-0,51%	-0,05%	-0,17%	-0,65%	-0,17%	-0,19%	-0,63%	-0,09%	-0,17%	-0,18%	-0,18%	3,56%	1,67%	1,69%	-3,96%	-2,07%	-2,08%	-0,43%	3,25%	-0,11%	-0,74%	-0,20%	-0,28%	-0,63%	-0,42%	-2,08%					
G.01 (120 V)	0,01%	-0,51%	-0,13%	-0,24%	-0,51%	-0,24%	0,76%	-0,57%	0,87%	-1,56%	-0,23%	-0,23%	6,77%	1,53%	1,39%	-3,58%	0,01%	-3,68%	0,28%	4,02%	0,01%	-0,58%	0,52%	0,20%	0,90%	-2,17%	-2,50%					
G.02 (240 V)	-0,58%	-0,61%	-0,64%	-0,66%	-0,74%	-0,64%	-1,39%	-1,82%	-1,41%	-0,16%	-0,89%	-0,58%	6,79%	3,50%	2,16%	-3,21%	-4,15%	-3,45%	-0,57%	3,38%	-0,60%	-0,86%	-1,07%	1,16%	-1,72%	-1,47%	-2,12%					
G.03 (120 V)	0,32%	-0,16%	0,24%	0,29%	0,01%	0,31%	0,29%	-0,30%	0,24%	0,30%	0,29%	0,30%	4,55%	2,38%	2,50%	-4,02%	-1,83%	-1,91%	0,46%	4,55%	0,39%	-0,30%	-0,37%	0,35%	-10,74%	0,19%	-1,61%	-0,01%	0,04%	0,11%	-0,45%	-0,43%
G.04 (120 V)	-0,01%	-0,34%	-0,16%	-0,01%	-0,35%	0,01%	-0,04%	-0,47%	-0,17%	-0,02%	-0,03%	-0,01%	4,24%	2,03%	2,14%	-4,36%	-2,16%	-2,26%	0,19%	4,27%	0,07%	-0,37%	-0,64%	0,04%	-9,64%	-0,07%	-1,96%					
I.01 (240 V)	0,01%	-0,11%	0,07%	0,00%	-0,14%	0,02%	0,03%	-0,15%	0,08%	0,01%	0,02%	0,02%	4,21%	2,16%	2,09%	-4,18%	-2,09%	-2,07%	-0,04%	3,92%	0,08%	-0,16%	0,07%	0,05%	-0,21%	-0,11%	-1,85%					
I.02 (120 V)	0,21%	-0,34%	0,24%	0,19%	-0,34%	0,17%	0,18%	-0,41%	0,23%	0,17%	0,19%	0,17%	4,37%	2,31%	2,24%	-4,06%	-1,96%	-1,91%	0,03%	4,00%	0,25%	-0,34%	0,14%	0,12%	-9,22%	0,02%	4,03%					
I.03 (240 V)	0,00%	0,24%	-0,06%	-0,04%	0,39%	-0,10%	-0,05%	0,32%	-0,02%	-0,26%	-0,12%	-0,08%	3,93%	2,10%	1,76%	-4,02%	-2,25%	-1,91%	0,34%	3,83%	0,02%	0,38%	-1,00%	0,04%	-0,92%	0,00%	-1,79%					
N.01 (120 V)	-0,03%	-0,29%	0,01%	0,04%	-0,29%	0,04%	0,03%	-0,49%	0,01%	0,06%	0,05%	0,05%	4,27%	2,19%	2,14%	-4,20%	-2,12%	-2,05%	-0,02%	3,94%	0,14											



Tabela 12 - Resumo dos desvios de medição para medidores eletrônicos tomando como referência P.

Desvio de medidores eletrônicos (%) - Pref = P																																	
Código	I.1	I.2	I.3	II.1	II.2	II.3	III.1	III.2	III.3	IV.1	IV.2	IV.3	V.1	V.2	V.3	VI.1	VI.2	VI.3	VII.1	VII.2	VII.3	VII.4	VII.5	VII.6	VII.7	VII.8	VII.9	VIII.1	VIII.2	VIII.3	VIII.4	VIII.5	
A.01 (120 V)	-0,14%	-0,11%	0,01%	-0,15%	-0,34%	-0,25%	-0,02%	-0,16%	-0,19%	-0,18%	-0,19%	-0,20%	-0,47%	-0,28%	-0,30%	0,13%	-0,02%	0,04%	0,10%	-0,09%	-0,11%	-0,46%	-0,09%	-0,08%	-0,31%	-0,08%	-0,06%						
A.01 (240 V)	0,03%	-0,03%	-0,02%	0,03%	-0,01%	0,04%	-0,01%	0,02%	0,02%	0,09%	0,07%	0,06%	-0,21%	-0,04%	-0,10%	0,37%	0,22%	0,08%	0,18%	-0,04%	0,11%	0,06%	0,11%	0,08%	-0,01%	0,14%	0,19%						
A.02 (120 V)	-0,04%	0,07%	-0,08%	-0,03%	0,07%	-0,03%	-0,06%	0,43%	-0,07%	0,01%	-0,02%	-0,01%	0,11%	0,10%	0,11%	0,03%	-0,02%	-0,03%	0,06%	0,07%	-0,01%	0,03%	-1,22%	0,17%	0,28%	0,12%	-5,59%	0,15%	0,08%	-0,37%	-0,61%	-0,54%	
A.02 (240 V)	0,22%	0,52%	0,08%	0,23%	0,52%	0,23%	0,22%	0,49%	0,06%	0,20%	0,19%	0,19%	0,19%	0,19%	0,19%	0,15%	0,15%	0,17%	0,23%	0,26%	0,18%	0,43%	-1,02%	0,32%	0,56%	0,29%	0,26%	0,27%	0,21%	-0,25%	-0,06%	-0,01%	
A.04 (240 V)	0,16%	-0,30%	0,31%	0,17%	-0,29%	0,17%	0,13%	-0,31%	0,31%	0,19%	0,18%	0,18%	0,11%	0,10%	0,18%	0,22%	0,22%	0,14%	0,22%	0,14%	0,17%	-0,29%	0,14%	0,05%	-0,65%	0,13%	0,03%						
B.01 (120 V)	-0,73%	-0,83%	-0,06%	-0,23%	-0,57%	-0,08%	-0,08%	-0,44%	0,29%	0,06%	-0,02%	0,05%	-0,23%	-0,10%	-0,07%	0,39%	0,17%	0,12%	-0,15%	-0,36%	0,05%	-0,73%	0,01%	-0,37%	39,62%	0,14%	-0,40%						
B.01 (240 V)	-0,08%	-0,09%	-0,01%	0,07%	-0,01%	0,06%	0,07%	-0,32%	0,48%	0,07%	0,07%	0,36%	-0,14%	-0,09%	-0,07%	0,62%	0,17%	0,28%	0,22%	0,11%	-0,01%	0,09%	0,10%	-0,11%	40,11%	0,43%	-0,50%						
B.02 (120 V)	0,51%	-0,26%	0,40%	0,49%	-0,21%	0,34%	0,34%	-0,34%	0,31%	0,40%	0,43%	0,34%	0,30%	0,24%	0,30%	0,37%	0,45%	0,37%	0,13%	0,21%	0,47%	-0,33%	-3,65%	0,18%	-0,46%	0,53%	0,44%						
B.03 (240 V)	0,38%	0,24%	0,36%	0,34%	0,23%	0,34%	0,33%	0,21%	0,41%	0,40%	0,34%	0,33%	-0,72%	-0,21%	-0,19%	1,57%	0,92%	0,90%	0,40%	-0,39%	0,29%	0,12%	0,38%	0,21%	-2,00%	0,31%	0,97%						
B.04 (240 V)	0,24%	0,02%	0,24%	0,24%	0,02%	0,24%	0,23%	-0,03%	0,20%	0,24%	0,22%	0,23%	-0,88%	-0,41%	-0,27%	1,37%	0,85%	0,70%	0,20%	18,42%	0,21%	0,03%	-0,22%	0,30%	-1,21%	0,23%	-13,90%						
B.05 (240 V)	0,74%	0,44%	0,62%	0,74%	0,42%	0,75%	0,68%	0,25%	0,53%	0,64%	0,72%	0,71%	-0,41%	0,28%	0,13%	1,89%	1,18%	1,29%	0,51%	-0,28%	0,84%	0,35%	0,62%	0,03%	-7,52%	0,36%	0,84%						
B.07 (120 V)	0,22%	-0,47%	0,13%	0,01%	-0,63%	0,24%	0,15%	-0,61%	0,68%	0,23%	0,01%	0,39%	-0,06%	0,06%	0,02%	0,42%	0,40%	0,29%	0,08%	0,12%	0,14%	-0,53%	0,35%	0,18%	36,72%	0,59%	2,17%	-0,36%	-0,62%	-0,93%	-0,06%	-0,04%	
B.07 (240 V)	0,09%	-0,14%	0,48%	0,08%	-0,15%	0,40%	0,38%	-0,14%	0,73%	0,67%	0,38%	0,37%	0,17%	0,20%	0,26%	0,64%	0,63%	0,58%	0,38%	0,20%	0,14%	-0,18%	0,45%	0,40%	49,38%	0,45%	2,00%	-0,74%	-0,09%	-0,50%	0,20%	0,07%	
B.08 (120 V)	-0,44%	-0,23%	-0,53%	-0,42%	-0,21%	-0,44%	-0,44%	-0,23%	-0,55%	-0,42%	-0,44%	-0,43%	-0,45%	-0,41%	-0,48%	-0,40%	-0,44%	-0,40%	-0,39%	-0,39%	-0,41%	-0,20%	-0,30%	-0,33%	-0,23%	-0,37%	-0,37%						
B.09 (120 V)	0,68%	0,17%	0,59%	0,65%	0,22%	0,58%	0,63%	0,04%	0,50%	0,55%	0,60%	0,57%	-0,65%	-0,09%	-0,08%	1,64%	1,08%	1,07%	0,27%	-9,86%	0,64%	0,10%	-0,15%	0,22%	-2,41%	0,35%	0,67%						
C.01 (240 V)	0,18%	0,14%	0,24%	0,18%	-0,44%	0,08%	0,06%	-0,29%	0,24%	0,15%	0,17%	0,09%	0,04%	0,04%	0,12%	0,21%	0,21%	0,06%	0,09%	-0,15%	0,16%	-0,25%	-0,19%	3,51%	-2,27%	-2,08%	8,03%	-0,25%	-0,26%	-1,01%	0,01%	-0,02%	
C.02 (120 V)	-0,12%	-0,59%	-0,12%	-0,16%	-0,68%	-0,38%	-0,32%	-0,45%	-0,04%	-0,22%	-0,13%	-0,50%	-0,45%	-0,35%	-0,38%	-0,10%	-0,23%	-0,27%	-0,06%	-0,15%	-0,08%	0,09%	-2,02%	-0,24%	-0,28%	0,73%	0,39%	-0,36%	-0,33%	-0,91%	-0,11%	-0,11%	
C.02 (240 V)	0,11%	-0,38%	0,13%	0,10%	-0,33%	0,05%	0,03%	-0,16%	0,14%	0,10%	0,14%	0,10%	0,02%	0,00%	0,06%	0,15%	0,15%	0,08%	0,10%	0,07%	0,12%	0,21%	-1,79%	1,74%	3,34%	0,32%	1,59%	-0,20%	-0,11%	-0,78%	0,11%	-0,02%	
C.03 (120 V)	-0,34%	0,73%	-0,67%	-0,31%	0,24%	-0,67%	-0,55%	0,46%	-1,00%	-0,37%	-0,38%	-0,60%	-0,73%	-0,48%	-0,48%	-0,29%	-0,52%	-0,42%	-0,27%	-0,35%	-0,56%	0,07%	-1,03%	-1,31%	-1,44%	-0,19%	-1,46%						
C.04 (120 V)	-0,12%	0,43%	-0,81%	-0,11%	0,43%	-0,15%	-0,16%	0,98%	-0,05%	-0,17%	0,16%	-0,15%	-0,17%	-0,10%	-0,20%	1,41%	6,46%	-0,06%	-0,08%	-0,17%	0,17%	0,51%	-0,05%	-0,10%	0,55%	-0,01%	0,13%						
C.05 (120 V)	0,12%	-0,24%	0,08%	0,11%	-0,09%	0,08%	0,09%	-0,15%	0,05%	0,08%	0,08%	0,06%	0,00%	0,10%	-0,01%	0,14%	0,05%	0,17%	-0,09%	-0,03%	0,09%	-0,13%	0,16%	-2,08%	-0,03%	-0,19%	0,48%						
C.06 (240 V)	0,24%	0,17%	0,22%	0,23%	0,18%	0,20%	0,20%	0,14%	0,19%	0,19%	0,18%	0,21%	0,16%	0,19%	0,17%	0,26%	0,23%	0,23%	0,22%	0,16%	0,22%	0,17%	0,27%	0,15%	0,21%	0,19%	0,24%						
C.07 (240 V)	-0,59%	-0,63%	-0,56%	-0,56%	-0,55%	-0,54%	-0,56%	-0,56%	-0,51%	-0,51%	-0,52%	-0,50%	-0,55%	-0,50%	-0,57%	-0,49%	-0,56%	-0,46%	-0,49%	-0,50%	-0,51%	-0,47%	-0,43%	-0,52%	-0,58%	-0,38%	-0,42%						
C.08 (120 V)	-0,09%	-0,05%	-0,13%	-0,08%	-0,10%	-0,08%	-0,12%	-0,16%	-0,17%	-0,06%	-0,06%	-0,06%	-0,06%	-0,05%	-0,14%	-0,03%	-0,11%	-0,03%	-0,37%	-0,22%	-0,07%	-0,19%	0,04%	-0,07%	-0,27%	-0,04%	-0,12%						
D.01 (120 V)	0,09%	-0,59%	0,13%	0,09%	-0,60%	0,09%	0,03%	-0,63%	0,13%	0,10%	0,09%	0,09%	-0,21%	-0,12%	-0,04%	0,34%	0,24%	0,15%	0,12%	-0,09%	0,08%	-0,39%	-0,78%	-0,02%	-9,30%	0,10%	0,10%	-0,18%	-0,30%	-1,22%	-0,34%	-0,29%	
D.01 (240 V)	0,09%	0,02%	0,28%	0,20%	0,01%	0,20%	0,19%	-0,02%	0,25%	0,20%	0,19%	0,20%	-0,07%	-1,99%	-1,92%	0,49%	0,37%	0,28%	0,24%	0,05%	0,19%	-0,04%	-0,74%	0,13%	-0,06%	0,19%	0,22%	-1,19%	0,22%	-0,54%	-0,28%	-0,35%	
D.02 (120 V)	0,01%	-0,36%	0,05%	0,01%	-0,44%	0,02%	0,00%	-0,43%	0,06%	0,02%	0,01%	0,01%	-0,01%	0,06%	-0,07%	0,02%	-0,05%	0,09%	-0,15%	-0,13%	0,02%	-0,37%	0,15%	-0,02%	-0,43%	-0,01%	-0,12%						
D.02 (240 V)	0,07%	-0,07%	0,09%	0,06%	-0,06%	0,07%	0,06%	-0,07%	0,10%	0,07%	0,06%	0,06%	0,04%	0,12%	-0,01%	0,08%	0,00%	0,15%	0,09%	0,07%	0,07%	-0,05%	0,11%	0,01%	-0,14%	0,06%	-0,01%						
D.03 (240 V)	0,98%	2,75%	0,09%	0,92%	2,70%	0,88%	0,87%	2,70%	0,11%	0,80%	0,79%	0,89%	0,51%	0,89%	0,50%	-3,00%	0,85%	1,25%	0,74%	0,43%	0,86%	2,43%	0,92%	1,62%	2,57%	1,29%	1,59%						
D.04 (120 V)	0,21%	-1,43%	0,22%	0,24%	-1,43%	0,20%	0,18%	-1,87%	0,18%	0,22%	0,21%	0,22%	-0,07%	0,04%	0,09%	0,48%	0,37%	0,31%	-0,95%	-1,32%	0,21%	-2,71%	-0,68%	0,13%	-0,42%	0,14%	0,03%						
D.05 (120 V)	0,27%	0,34%	0,24%	0,27%	0,32%	0,27%	0,25%	0,27%	0,23%	0,27%	0,27%	0,26%	-0,05%	0,10%	0,09%	0,56%	0,41%	0,39%	0,01%	0,07%	0,27%	0,28%	-0,08%	0,29%	0,07%	0,28%	0,39%						
D.05 (240 V)	0,34%	0,47%	0,30%	0,35%	0,44%	0,34%	0,32%	0,42%	0,28%	0,34%	0,35%	0,35%	0,04%	0,18%	0,19%	0,67%	0,49%	0,49%	0,36%	0,15%	0,34%	0,43%	-0,08%	0,39%	0,53%	0,38%	0,46%						
E.02 (120 V)	-0,53%	-0,98%	-0,50%	-0,23%	-1,02%	-0,11%	-0,26%	-1,02%	-0,51%	-0,16%	-0,39%	-0,19%	-0,25%	0,07%	-0,44%	-0,12%	-0,41%	0,12%	-0,34%	-0,28%	-0,17%	-2,72%	-0,56%	-0,48%	-0,84%	-0,44%	-10,74%						
E.03 (120 V)	-0,14%	-0,51%	-0,05%	-0,17%	-0,65%	-0,17%	-0,18%	-0,64%	-0,09%	-0,18%	-0,18%	-0,19%	-0,63%	-0,45%	-0,40%	0,26%	0,07%	0,00%	-0,43%	-0,68%	-0,21%	-0,79%	-0,08%	-0,30%	-0,85%	-0,26%	-0,17%						
G.01 (120 V)	0,02%	-0,51%	-0,13%	-0,23%	-0,53%	-0,24%	0,77%	-0,59%	0,87%	-1,58%	-0,24%	-0,22%	2,45%	-0,59%	-0,67%	0,67%	2,19%	-1,63%	0,27%	0,06%	-0,09%	-0,62%	0,64%	0,21%	0,92%	-2,04%	-0,62%						
G.02 (240 V)	-0,58%	-0,60%	-0,63%	-0,66%	-0,74%	-0,64%	-1,39%	-1,82%	-1,40%	-0,16%	-0,91%	-0,58%	2,47%	1,35%	0,07%	1,05%	-2,07%	-1,39%	-0,57%	-0,55%	-0,69%	-0,92%	-1,01%	1,11%	-1,55%	-1,33%	-0,21%						
G.03 (120 V)	0,32%	-0,16%	0,24%	0,28%	-0,01%	0,31%	0,28%	-0,30%	0,24%	0,30%	0,28%	0,30%	0,32%	0,24%	0,40%	0,19%	0,31%	0,16%	0,46%	0,58%	0,29%	-0,35%	-0,24%	0,32%	-10,74%	0,33%	0,30%	-0,01%	0,04%	-2,37%	-0,45%	-0,43%	
G.04 (120 V)	-0,02%	-0,34%	-0,16%	-0,01%	-0,37%	0,01%	-0,06%	-0,49%	-0,18%	-0,03%	-0,04%	-0,01%	0,02%	-0,10%	0,05%	-0,15%	-0,03%	-0,17%	0,19%	0,32%	-0,02%	-0,40%	-0,49%	0,01%	-9,95%	0,07%	-0,07%						
I.01 (240 V)	0,01%	-0,11%	0,07%	0,01%	-0,14%	0,01%	0,03%	-0,17%	0,07%	0,01%	0,02%	0,02%	0,00%	0,03%	0,03%	0,03%	0,02%	0,05%	-0,04%	-0,01%	-0,17%	0,14%	-0,04%	-0,10%	-0,10%	0,04%	0,01%						
I.02 (120 V)	0,20%	-0,34%	0,23%	0,18%	-0,34%	0,17%	0,17%	-0,41%	0,23%	0,16%	0,19%	0,17%	0,16%	0,17%	0,15%	0,15%	0,17%	0,17%	0,04%	0,04%	0,14%	-0,36%	0,24%	0,13%	-9,21%	0,16%	6,04%						
I.03 (240 V)	-0,01%	0,24%	-0,07%	-0,05%	0,39%	-0,10%	-0,05%	0,32%	-0,03%	-0,27%	-0,12%	-0,09%	-0,27%	-0,03%	-0,31%	0,20%	-0,12%	0,18%	0,33%	-0,13%	-0,06%	0,36%	-0,94%	0,05%	-0,91%	0,14%</							