

## **METODOLOGIA DE ANÁLISE, ENSAIOS E CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Marcelo Florêncio da Rosa** <sup>1</sup>

**João Mota Neto** <sup>2</sup>

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo principal uma metodologia para ensaios e calibrações em medidores de energia elétrica monofásicos, porém a bancada elétrica que irá ser utilizada também é capaz de realizar ensaios e calibrações de medidores de energia trifásicos. Com base em todos os cálculos matemáticos que foram elaborados no decorrer desse trabalho, é possível mensurar o erro de cada medidor de energia elétrica, além de afirmar em qual teste esse medidor de energia elétrica foi reprovado. Pode-se concluir que os resultados obtidos nos testes foram satisfatórios e contribuíram muito para esse trabalho de conclusão de curso.

**Palavras-chave:** Ensaio. Calibração. Incerteza de medição, Medidor de energia elétrica.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecatrônica, ano: 2022 . E-mail: marcelo323445@hotmail.com

<sup>2</sup> Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: joao.neto@satc.edu.br

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica se tornou um meio necessário para a geração de proventos necessários a qualidade de vida humana, como trabalho, saúde, bem-estar, entre outros, que devido à melhoria dos padrões de vida das pessoas, principalmente nos países desenvolvidos, tem demandado o uso de técnicas que potencializam a produção de energia.

Nota-se que na região sul do Brasil há pouca mão de obra relacionada a parte de ensaios e calibrações de medidores de energia elétrica, e isso acaba gerando um enorme transtorno para as distribuidoras de energia, uma vez que as empresas que fazem este tipo de serviço encontram-se muitas vezes em estados distantes.

O investimento em toda a cadeia de fornecimento elétrico (geração, transmissão, distribuição e consumo) e a utilização de tecnologia de energia pode aumentar a prudência energética. É importante verificar o consumo de energia para monitorizar a utilização de energia. Esta estimativa deve ser exata para proteger os produtores, distribuidores, e consumidores de energia. Os medidores devem ser calibrados para satisfazer os requisitos (GARCIA, 2003).

Os medidores precisam ser calibrados para produzir estatísticas precisas de consumo de energia (o erro do medidor deve estar dentro do intervalo estipulado pela norma específica). O medidor deve medir com precisão o consumo de eletricidade. (INMETRO, 2012).

A “legislação metrológica aplicável” atribui vida útil de 25 anos a medidores eletromecânicos e de 13 anos aos demais medidores, conforme sua Resolução Normativa nº 674/2015.

Portanto a calibração dos relógios de energia elétrica é de extrema importância para os produtores, distribuidores, e consumidores, pois por meio da calibração é possível identificar se um instrumento encontra-se apresentando valores aceitáveis para não interferir na qualidade ou resultado final do produto, e com o equipamento devidamente calibrado é possível ter a confiabilidade sobre a fatura de energia elétrica, porque com o equipamento calibrado conforme as normas técnicas o relógio de energia elétrica irá apresentar os valores coerentes mesmo com o decorrer do tempo.

Será desenvolvido ao longo desse trabalho, uma metodologia específica para ensaio e calibração dos medidores de energia elétrica monofásicos, tendo como padrão uma bancada elétrica trifásica da MINIPA, capaz de fazer a calibração e os ensaios dos medidores de energia elétrica.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Ao se tratar de ensaios e calibrações, é importante atentar-se as normas técnicas aplicáveis a cada equipamento, a seguir é possível compreender o que cada norma metrológica informa.

### **2.1 NORMAS DO INMETRO 587 E 285**

Para a elaboração de procedimentos para ensaios e calibrações em relógios de energia elétrica é preciso atentar-se as Normas do INMETRO 587 - Norma técnica metrológica para medidores eletrônicos ativos de energia e 285 condições mínimas para medidores eletromecânicos de energia que devem ser seguidas na avaliação técnica do modelo, inspeção inicial, confirmação da solicitação e para o usuário de medidores eletrônicos e eletromecânicos ativos e/ou medidores de energia reativa, medidores monofásicos e polifásicos. As responsabilidades declaradas incluem a metodologia de ensaio para verificação do medidor de energia a pedido do proprietário e a possibilidade de realizar estes ensaios em campo ou em laboratório. No entanto, esse procedimento geralmente é realizado por empresas especializadas em calibração, medidores de energia e licenciadas de energia, pois não existem dispositivos portáteis especialmente desenvolvidos para testes de campo.

Nos laboratórios são utilizadas bancadas equipadas com uma fonte de tensão e uma fonte de corrente, que são capazes de fornecer a energia necessária para realizar as operações estipuladas nas normas acima mencionadas com diferentes medidores em diferentes posições, ou seja, geralmente registrando, desde 1 a 20 metros simultaneamente, dependendo da bancada. Além disso, em cada posição dessas bancadas há um medidor de energia padrão, ou seja, hardware embarcado ou circuito especial com pelo menos três vezes a precisão dos medidores analisados e capaz de medir a energia transmitida medida comum, que ajuda a obter, por exemplo, o último erro de medição.

No entanto, a logística de retirar o medidor de energia de um cliente, instalar um novo medidor no local, transportar esses medidores para um laboratório credenciado, verificar as funções e mobilizar a equipe da empresa responsável pelo armazenamento é muitas vezes dispendiosa e demorada, pois há empresas responsáveis pela distribuição de energia em mais de um estado brasileiro e o transporte dos medidores até o laboratório pode levar dias. O artigo 137 da decisão normativa 1 da ANEEL estabelece que o titular da licença deve concluir as medições dos medidores de energia e demais medidores solicitados pelo consumidor no prazo de 30 dias. (INMETRO, 2012).

Entre várias resoluções e portarias que existem da Aneel (Agência nacional de energia elétrica), encontra-se a resolução 1000, que entrou em vigor a partir de dezembro de 2021. Nessa resolução é possível identificar entre vários quesitos os direitos e deveres das concessionárias de energia elétrica. A partir do artigo 248 dessa resolução percebe-se que a inspeção de um sistema de medição só poderá ser realizada pelas distribuidoras de energia elétrica e que esses medidores de energia elétrica irão para laboratórios desde que o laboratório seja acreditado. Conforme a resolução 1000, o profissional que irá fazer essa calibração do medidor de energia elétrica terá que ser tecnicamente habilitado e o local da calibração tem que seguir o processo de certificação da norma ABNT NBR ISO 9001.

Quando a distribuidora de energia elétrica é chamada para ir até uma residência verificar se há alguma anormalidade no medidor de energia elétrica, a distribuidora tem até 30 dias contados da solicitação do consumidor, e ainda a distribuidora precisa informar o seu cliente pelo menos 3 dias úteis antes da data fixada para fazer essa inspeção ou calibração do medidor de energia elétrica pois o consumidor tem o direito de acompanhar a inspeção. Em alguns casos, é preciso retirar o medidor de energia elétrica e levar para um laboratório acreditado, porém deve-se seguir uma série de procedimentos para o transporte desse medidor, como: avisar a data e o turno de retirada do medidor; lacrar o invólucro no ato da retirada do medidor e entregar para o consumidor os comprovantes desse procedimento; informar ao consumidor por escrito, com pelo menos 10 dias de antecedência, o local, data e horário da realização da inspeção e calibração.

Ao chegar no local em que o medidor de energia elétrica se encontra, a distribuidora de energia elétrica deve verificar se o sistema está de acordo com o

indicado no projeto ou cadastro na distribuidora e ainda se há evidências de violações no sistema de medição ou em seus lacres, o que pode acabar comprometendo a medição e por último é observado se o medidor de energia elétrica está com o correto funcionamento.

O consumidor que se sentir prejudicado pela medição do medidor de energia elétrica, tem 15 dias a contar do recebimento do relatório de inspeção, para solicitar junto a distribuidora a verificação do medidor junto ao INMETRO ou órgão metrológico competente. É importante ressaltar que o consumidor que desconfiar da medição do seu medidor de energia elétrica e o mesmo estiver funcionando adequadamente, cabe ao consumidor arcar com todos os custos referentes a inspeção e calibração do seu medidor de energia elétrica.

Se o medidor de energia elétrica estiver com defeito e o mesmo estiver marcando a mais que o correto, a distribuidora deve apurar a compensação do faturamento de energia elétrica excedente e aplicar alguns critérios como: utilização do fator de potência de correção do erro de medição, determinado por meio de avaliação técnica em laboratório e utilização das médias aritméticas dos valores faturados nos 12 últimos meses.

Para fins de compensação do faturamento, o período de duração do defeito na medição deve ser determinado tecnicamente ou pela análise do histórico dos consumos de energia elétrica e demandas de potências os 3 ciclos, no caso de cobrança por medição menor ou de 60 ciclos, no caso de devolução por medição maior.

Além dessas resoluções do INMETRO, há também o PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), que são documentos elaborados pela ANEEL juntamente com outros órgãos e instituições do sistema elétrico. Esses documentos servem para padronizar as atividades técnicas referentes ao funcionamento e desempenho do sistema de distribuição de energia elétrica. O PRODIST também é utilizado para normatizar as relações entre os consumidores e as distribuidoras de energia elétrica.

Há no PRODIST 11 módulos para detalhar cada assunto referente a todos os aspectos que possa causar algum tipo de dúvida, tanto na distribuidora de energia elétrica quanto no consumidor. No módulo 5 do PRODIST relata-se sobre o sistema de medição. Nesse módulo tem por objetivo uniformizar os critérios dos equipamentos

de medição de energia, visando torna-los de simples calibração, assim como estabelecer critérios de salvamento e comunicação de dados.

Pelo fato de envolver diversas atividades, este módulo também se encarrega de definir as responsabilidades dos acessados em relação as atividades de implantação, inspeção e manutenção que venham a ocorrer no sistema de medição. Então é possível verificar que a resolução 1000 juntamente com o PRODIST, são normas muito importante quando se trata sobre medição de energia.

## 2.2 OS MEDIDORES

Existem dois tipos de medidores de corrente alternada: monofásicos e polifásicos. Ambos se baseiam na indução eletromagnética e funcionam de forma semelhante aos motores elétricos de indução. Os medidores de indução, que são frequentemente utilizados para medir energia em circuitos de corrente alternada, são utilizados em circuitos de corrente alternada; tensão alternada (NETO, 2021).

Os primeiros medidores de energia foram patenteados no ano de 1872 e mediam a energia elétrica por intermédio de um medidor com um eletroímã. Logo em 1878, um novo dispositivo surgiu que se diferenciava do anterior por medir corrente alternada. Conforme os anos foram passando, diferentes sistemas foram desenvolvidos até o surgimento dos que atualmente são mais utilizados, os medidores eletromecânicos (fig. 1) e os eletrônicos (fig. 2).

Quanto a suas características, os medidores eletromecânicos apresentam baixo custo e são fáceis de serem encontrados. Internamente, eles apresentam um esquema interno formado por bobinas que medem a tensão enquanto induzem um campo magnético que gira o disco de alumínio acoplado ao aparelho, a seguir é possível observar um modelo de medidor eletromecânico.

Figura 1 – Medidor Eletromecânico de Energia



Fonte: Oliveira (2020).

Figura 2 – Medidor Eletrônico de Energia



Fonte: Oliveira (2020).

Os medidores eletrônicos por sua vez, funcionam por intermédio de transdutores de corrente e potência elétrica que recebem sinais de entrada e os enviam multiplicados. O valor gerado então é salvo por um registrador.

Dois tipos de medição podem ser realizados, as centralizadas e individuais. Na primeira, normalmente os medidores encontram-se em uma área central e no alto de postes de modo que o acesso a eles seja restrito. O conceito fundamental da medição centralizada é a preservação da individualização da medição do consumo de energia adicionado à tele medição AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) para possibilitar leitura remota e comandos aos medidores, como conexão e desconexão de unidades consumidoras.

A segunda, individual, é normalmente utilizada em áreas urbanas, diretamente na unidade consumidora. As informações coletadas dos medidores são utilizadas posteriormente para o faturamento. As principais fraudes, registradas principalmente em medidores eletromecânicos são: rompimento ou adulteração do lacre de segurança; obstrução do elemento móvel; inversão de conexões e curto nos terminais de medida de tensão (NETO, 2021).



### 2.3 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE UM MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA

A norma ABNT NBR 8377 - Medidor de Energia Ativa (ABNT, 1995) descreve em pormenor um medidor de energia elétrica. O medidor é composto de várias partes, incluindo uma base, um ciclômetro, um cilindro ciclométrico, um gravador, uma bobina de corrente, uma bobina potencial, um motor, uma catraca, uma tampa de medidor, e uma placa de identificação. Todos partilham as mesmas qualidades e funções, no entanto, foram separados em duas categorias (principal e secundária). (CAVALCANTI; DOS SANTOS, 2021).

Para medidores monofásicos, são oferecidas bases de plástico ou de alumínio-silício injetadas por pressão. A base do medidor é utilizada para fixar durante a instalação. Um terminal é uma peça de hardware que liga o medidor ao circuito que está a ser medido. Um "bloco terminal" é um suporte isolante para os terminais do medidor.

A tampa do bloco terminal é um componente para proteger e cobrir o bloco terminal, o(s) orifício(s) de ligação inferior do medidor, e a câmara do bloco terminal.

### 2.4 CALIBRAÇÃO DE UM MEDIDOR

O equipamento em questão é comparado com a bancada padrão para realizar-se o ensaio ou a calibração. É preciso ligar as bobinas atuais e potenciais do medidor padrão em série e em paralelo com as do medidor calibrado. A constante do medidor está inscrita na placa de identificação. A "constante de disco" é uma constante que define quanto Wh é registado para cada rotação do disco quando esta unidade está em funcionamento (MINGUEZ, 2007).

A constante padrão do medidor, será utilizada para a distinguir da própria constante. Quando se conhece a potência ativa ( $P$ ) do interruptor e uma carga  $M$  que requer uma certa quantidade de energia  $W$  (MINGUEZ, 2007).



### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para os ensaios e calibrações dos medidores de energia elétrica, será utilizado uma bancada trifásica da Minipa. Esse sistema possui um aplicativo chamado Smartem, onde é feito a aquisição de dados e é nesse aplicativo que consegue-se observar todos os gráficos referentes aos testes que serão realizados ao longo desse trabalho.

#### 3.1 METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO NOS MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

Quando o medidor chega ao laboratório, o instrumento a ser calibrado deve ser corretamente desembalado, avaliando e registrando tudo de anormalidades que possam estar evidentes no medidor, de modo que sejam documentadas as suas condições de recebimento.

Antes de realizar o ensaio e ou a calibração do instrumento, é necessário fazer a limpeza das partes elétricas que irão entrar em contato com a bancada elétrica, pois caso essa limpeza não seja realizada, corre o risco de gerar algum tipo de mau contato entre os terminais do medidor de energia elétrica e a bancada padrão.

Para a calibração, o medidor de energia elétrica será conectado na bancada elétrica e será realizado 4 tipos de testes diferentes conforme está sendo descrito abaixo.

Após a chegada do técnico responsável no local solicitado pelo usuário, a primeira coisa a fazer é avaliar as condições de instalação do medidor para decidir se deve realizar o teste. Para isso, verifica a integridade do selo da empresa, verifica se o modelo do medidor é o instalado em campo e, por fim, avalia conexões defeituosas ou danos físicos. Se alguma anomalia for encontrada durante a primeira etapa, o medidor será removido e substituído por um novo sem a necessidade de calibração. Caso contrário, ele inicia a execução do programa dos 4 testes, sendo teste inicial, teste de marcha a vazio, teste de exatidão e por fim o teste do registrador, não necessariamente nesta ordem. Para isso, o técnico responsável deve desconectar os circuitos de tensão e corrente do medidor, isolando-os de quaisquer perturbações externas durante a medição. Neste primeiro teste, é feito a conexão entre o bluetooth da bancada elétrica com um tablet ou celular que possua o aplicativo Smartem já

instalado. É por meio desse aplicativo Smartem que é possível verificar todos os erros possíveis que o medidor de energia elétrica venha a apresentar. Após feita todos esses ajustes, é preciso selecionar algumas informações de extrema importância para o início do ensaio, como pode ser observado na imagem a seguir.

Figura 3 – Informações do Ensaio básico dos medidores de energia elétrica.



Fonte: Autor (2022).

### 3.2 MARCHA A VAZIO

Para este teste, o circuito de corrente do medidor deve primeiro ser desconectado, ou seja, sem carga. Em seguida, por um período de tempo definido pela equação (1), aplique uma tensão correspondente à tensão da rede local, no caso de medições em campo, ou no caso de medições em laboratório, aplique 115% da tensão nominal do medidor eletrônico, e 110% da tensão nominal para medidores eletromecânicos.

$$t = \frac{900 \cdot 10^3 \cdot k}{N \cdot Vn \cdot I_{max}} \tag{1}$$

Em que:

t = Tempo de ensaio em minutos

$K$  = Constante de calibração do Medidor

$N$  = Número de elementos de medição

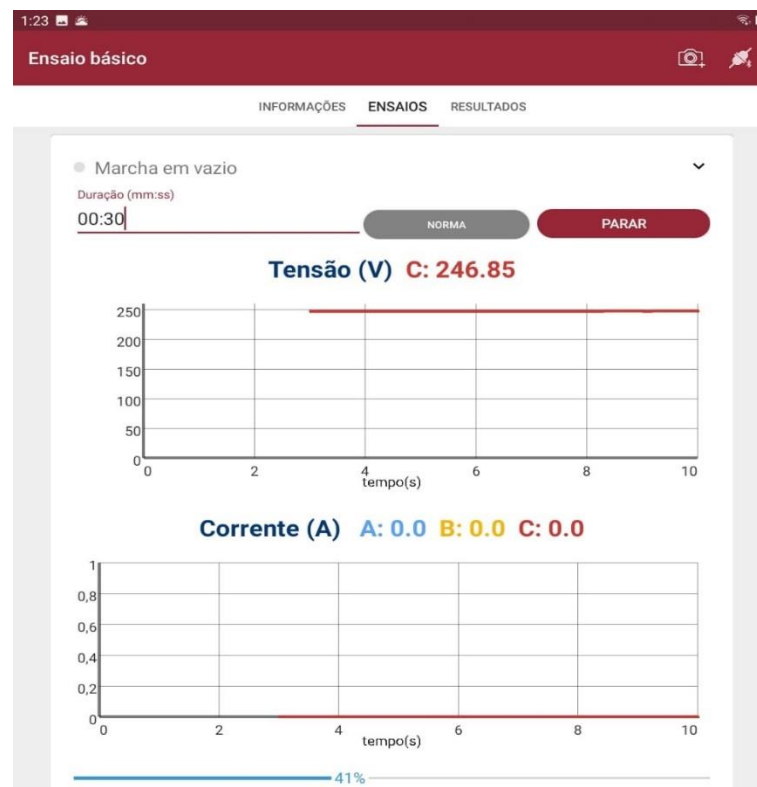
$V_N$  = Tensão nominal

$I_{max}$  = Corrente máxima em ampères

Se dentro de um tempo pré-determinado o medidor pulsar ou girar o mostrador, significa que está medindo energia sem circulá-la de forma eficiente, caracterizando um defeito no medidor. Caso contrário, o medidor passa no teste.

Na fig. 5 a seguir é possível observar um nível de tensão de 246,85V, entretanto também é possível ver que não existe corrente circulando pelo medidor, então é possível afirmar que neste teste o medidor de energia elétrica está aprovado.

Figura 4 – Marcha em vazio.



Fonte: Autor (2022).

### 3.3 MOSTRADOR

O objetivo deste teste é avaliar se um registrador de medição (seja um display digital ou ciclometros) está medindo corretamente. Portanto, o procedimento

consiste em aplicar 1,0 kWh de energia através do medidor em teste e verificar se o display registrará corretamente esta medição. Para isso, a tensão de alimentação é aplicada aos terminais de tensão do medidor no caso de medições em campo, ou à tensão nominal no caso de medições de laboratório. Além disso, para simular o consumo de energia, é aplicada uma corrente de valor arbitrário menor que a corrente máxima suportada pelo medidor. Nesse caso, quanto mais energia circular no medidor, mais rápido será o cálculo de 1,0 kWh. Na fig.5 a seguir consegue-se perceber esse teste sendo realizado.

Figura 5 – Registrador.



Fonte: Autor (2022).

### 3.4 ENSAIO DE EXATIDÃO

Neste teste, o objetivo é avaliar se o erro do medidor em teste está dentro dos limites determinados por [1] e [2], dependendo da classificação do medidor. Para

medidores eletromecânicos, o percentual de erro não deve exceder 4,0% para medidores Classe 2 e 2,0% para medidores Classe 1 em campo. Para medidores eletrônicos, em campo e em laboratório, são indicados os limites dos indicadores de classe, conforme tab.1 e tab.2 a seguir

Tabela 1: Limites de erros percentuais para medição ativa em campo.

D	C	B	A
±0,4	±1,2	±2,2	±3,2

Fonte: Portaria Inmetro nº 587 (2012).

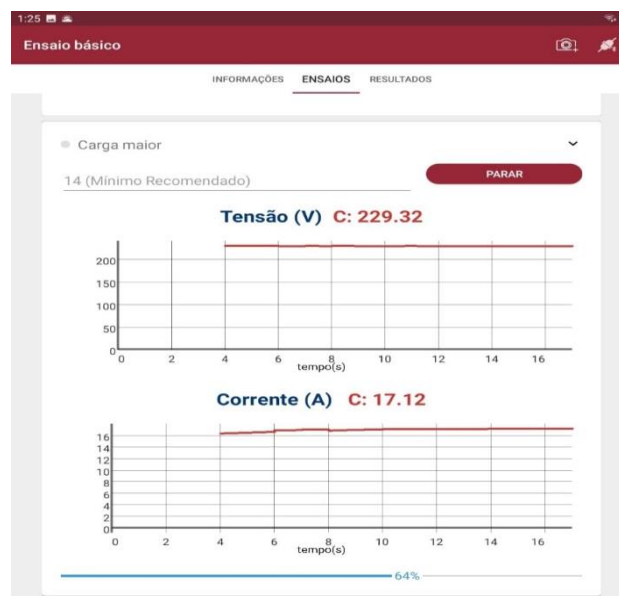
Tabela 2: Limites de erros percentuais para medição ativa em campo.

D	C	B	A
±0,3	±0,7	±1,3	±2,5

Fonte: Portaria Inmetro nº 587 (2012).

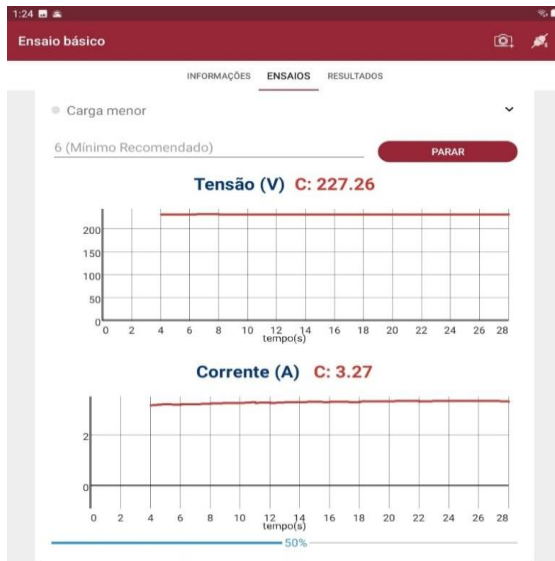
Além disso, a norma exige que os testes sejam realizados sob pelo menos duas condições de carga diferentes. No caso de teste de medição ativa determina a carga entre 10% da corrente nominal e I<sub>max</sub>. Nas figuras a seguir é possível identificar os ensaios sendo feitos em dois tipos de cargas diferentes, uma chamada de carga maior e a outra chamada de carga menor, e também é realizado o ensaio de exatidão com fator de potência menor que 1, popularmente chamado de ensaio indutivo.

Figura 6 – Carga maior.



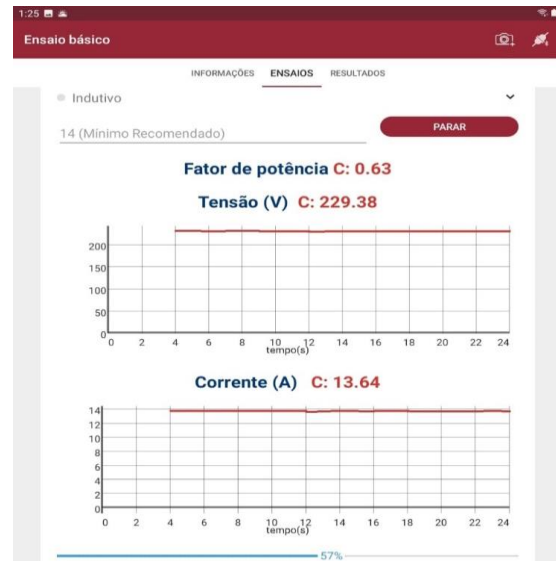
Fonte: Autor (2022).

Figura 7 – Carga menor.



Fonte: Autor (2022).

Figura 8 – Indutivo.



Fonte: Autor (2022).

Quando em posse dos resultados obtidos, o laboratório deve emitir um relatório ou certificado de calibração constando se o medidor de energia elétrica está aprovado ou reprovado conforme as normas 587 e 285 do Inmetro. Na fig.9 a seguir é possível observar um certificado do ensaio feito em um medidor eletrônico de energia elétrica.

Figura 9 – Certificado ensaio.

Relatório de avaliação técnica	
<b>SMARTEM</b>	
Eztron - Minipa do Brasil; R. Morro da Graça, 371 - Jardim Montanhês, Belo Horizonte - MG	
<b>Emissão:</b>	24/10/2022 - 1:33:30 PM
Dados do medidor	
<b>Nº fases:</b>	Monofásico
<b>Tipo:</b>	eletrônico
<b>Kd/Ke:</b>	1 Wh/p
<b>Classe:</b>	B
Dados dos ensaios	
Marcha em vazio	
<b>Tempo:</b>	00:30
<b>Resultado:</b>	Aprovado
Exatidão - Carga menor	
<b>Pulsos/voltas:</b>	6
<b>Resultado:</b>	Erro: -2.28% (REPROVADO)
Exatidão - Carga maior	
<b>Pulsos/voltas:</b>	14
<b>Resultado:</b>	Erro: -2.098% (REPROVADO)
Exatidão - Carga indutiva	
<b>Pulsos/voltas:</b>	14
<b>Resultado:</b>	Erro: -1.823% (REPROVADO)
Registrador	
<b>Leitura anterior:</b>	10191
<b>Leitura posterior:</b>	10192
<b>Resultado:</b>	Aprovado
<b>Erro limite dos ensaios de exatidão: (+/-) 1.3%</b>	

Fonte: Autor (2022).

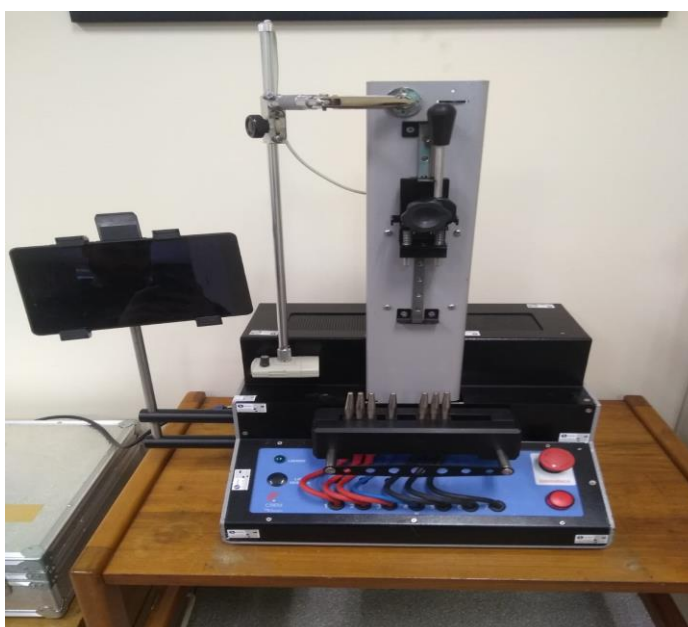
Com base no certificado do ensaio realizado do medidor de energia elétrica, é possível observar todos os possíveis erros que foram detectados ao longo dos testes. Observa-se que esse medidor foi aprovado nos testes de marcha a vazio e no teste do registrador, porém no teste de exatidão o medidor de energia elétrica foi reprovado nos três níveis, tanto no ensaio de exatidão de carga maior, carga menor e no de carga indutiva, pois os erros ficaram acima de 1,3% para mais ou para menos.

### 3.5 PADRÕES A SEREM UTILIZADOS

Por via de regra, os padrões a serem empregados ao longo do processo de calibração são escolhidos baseado na faixa de medição e exatidão nominal dos instrumentos a serem calibrados. Conforme a Portaria do Inmetro nº 587, de 05 de dezembro de 2012 é aconselhável que a relação entre a exatidão nominal do padrão e a exatidão nominal do instrumento sob calibração situe-se pelo menos 3 vezes melhor.

O laboratório de metrologia adquiriu uma bancada elétrica denominada de bancada de calibração trifásica 380V. Fabricado pela empresa MINIPA, tal sistema é capaz de medir e gerar sinais de energia elétrica com exatidão mais incerteza de 0,02%. A fig. 3 apresenta uma imagem da bancada elétrica trifásica M-3.

Figura 10 – Bancada Trifásica M-3.



Fonte: Autor (2022).



### 3.6 CÁLCULO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Nos últimos 70 anos, métodos estatísticos para estimar a incerteza de medição têm sido cada vez mais utilizados. No entanto, destaca-se um guia especial publicado pela ISO (International Organization for Standardization) em 1993 intitulado "*Guidelines for the Expression of Uncertainty in Measurement*" que se destaca e é amplamente reconhecido pela comunidade metrológica. É popularmente conhecido como "ISO GUM". Com o tempo, os organismos de acreditação de laboratórios de calibração e ensaio passaram a exigir a aplicação de métodos descritos pela ISO GUM para estimar a incerteza de medição.

Em resumo, para o cálculo da incerteza de medição, conforme ISO GUM (ABNT/INMETRO, 2003), é o seguinte:

a) Expresse matematicamente a relação entre o mensurando  $Y$  e a grandeza de entrada  $X_1$  da qual  $Y$  depende:  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ . A função deve conter cada quantidade, incluindo todas as correções e fatores de correção que possam contribuir com componentes de incerteza significativos para a medição.

b) determinar o valor estimado  $X_1$  da quantidade de entrada  $X_1$  com base na análise estatística de uma série de observações ou por outros meios.

c) Avalie a incerteza padrão  $U(X_1)$  para cada estimativa de entrada  $X_1$ .

d) Usando o valor estimado de  $X_1$  como a quantidade de entrada  $X_1$ , calcule o resultado da medição da relação funcional  $F$ , ou seja, estime o  $y$  do mensurando  $Y$ .

e) Determine a incerteza padrão combinada  $U_c(Y)$  do resultado da medição  $y$  a partir da incerteza padrão associada à estimativa de entrada.

f) Calcule a incerteza expandida  $U$ :  $U = k \cdot U_c(Y)$ , usando o fator de abrangência ( $k$ ), com um nível de confiança de aproximadamente 95%.

k) Relate o resultado da medição  $y$  com a incerteza expandida  $U$ , juntamente com o fator de cobertura ( $K$ ) utilizado.

No momento presente, é pertinente simular a execução do esquema exibido anteriormente. Portanto, admite-se um medidor de energia de classe de exatidão de 0,2% a ser calibrado por um padrão classe 0,02%. Considera-se, de modo geral, o ponto (condição calibração):

- a) Tempo de integração da energia de um minuto (1/60h);
- b) Tensão nominal de 220,6 V
- c) Corrente regulada em 100% do valor nominal (34 A), com FP=1.

Tal condição de energização implica a um valor indicado (V.I) de energia elétrica de:

$$VI = V \times I \times FP \times T.I = 220,6 \times 34 \times 1 \times \left(\frac{1}{60}\right) = 125 \text{ Wh} \quad (2)$$

Onde:

VI = valor indicado

V = tensão

I = corrente

FP = fator de potência

TI = tempo de integração

Posto isso, espera-se que o valor lido pelo padrão ou V.V.C (Valor Verdadeiro Convencional) durante a calibração esteja próximo de 125 Wh, visto que foi esse o resultado que se encontrou na fórmula matemática anteriormente. Continuando a simulação, foram feitas três leituras (no mesmo ponto) por comparação direta entre o medido de energia (V.I) e a fonte padrão (V.V.C), conforme é apresentado na tab.3 a seguir.

Equação da medição:  $V.I = V.V.C + \text{Erro}$

Tabela 3: Dados obtidos:

Nº	V.V.C (Wh)	V.I (Wh)
1	125,00	125,02
2	125,00	125,06
3	125,00	125,04

Fonte: Do Autor (2022)

Média aritmética de V.I.: 125,04 Wh

Desvio padrão experimental:  $s(x) = 0,02\text{Wh}$

$$u(x) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \frac{0,02}{\sqrt{3}} = 0,01154 \text{ Wh} \quad (3)$$

Onde:

$u(x)$  = incerteza padrão

$s(x)$  = desvio padrão experimental

$\sqrt{n}$  = número de vezes que foi feita a calibração

$$u(x) = im \times xi = 0,031\% \times 4080 = \pm 1,2648 \text{ Wh} \quad (4)$$

Onde:

$u(x)$  = incerteza do padrão

$im$  = incerteza de medição em %

$x_i$  = valor medido

$$E_r = \frac{x_i - x_v}{x_v} \times 100 = \frac{4080 - 4073,7168}{4073,7168} \times 100 = 0,154\% \quad (5)$$

Onde:

$E_r$  = erro relativo

$x_i$  = valor medido

$x_v$  = valor verdadeiro ou mais provável

$$V_c = x_i \times x_v = 4080 \times (-0,154\%) = -6,2832 \text{ Wh} \quad (6)$$

Onde:

$V_c$  = valor corrigido

$x_i$  = valor medido

$x_v$  = erro relativo em porcentagem

$$E = x_i - x_v = 4080 - 6,2832 = 4073,7168 \text{ Wh} \quad (7)$$

Onde:

E = erro absoluto

$x_i$  = valor medido

$x_v$  = valor verdadeiro ou mais provável

Isso quer dizer que, quando o padrão estiver marcando 4080 Wh, na verdade o valor corrigido a ser considerado é de 4073,7168 Wh.

Resolução do Medidor sob calibração (1 pulso):  $U_{\text{Resx}} = 1,0 \text{ Wh}$

$$Er = Cp \times Lt = 0,02\% \times 125 \text{ Wh} = 0,025 \text{ Wh} \quad (8)$$

Onde:

Er = exatidão relógio

$C_p$  = valor medido

$x_v$  = valor verdadeiro ou mais provável

$$Enp = t \times i \times ex = 120 \text{ V} \times 34 \text{ A} \times 0,02\% = 0,816 \text{ Wh} \quad (9)$$

Onde:

Enp = Exatidão nominal do padrão

V = tensão

I = corrente

Ex = exatidão do padrão

Incerteza da última calibração do Padrão U (dados do certificado) =  $\pm 1,2648 \text{ Wh}$   
(dado do certificado)

k = 2 (dado do certificado)

$$u_{ResPad} = \frac{Res}{n^{\circ}} = \frac{1}{2} = 0,5 Wh \quad (10)$$

Onde:

$u_{ResPad}$  = incerteza resolução do padrão

Res = resolução do padrão

$n^{\circ}$  = número resolução do padrão

Após a elaboração de todos os cálculos matemáticos é possível montar uma tabela para calcular a incerteza combinada da bancada de energia elétrica. A tab.4 a seguir mostra todos os valores obtidos através dos cálculos que foram realizados anteriormente.

Tabela 4: Resultados obtidos através dos cálculos de incerteza de medição.

Incerteza		Estimativa	Distribuição		Incerteza padrão	Coef. Sensib.	Contribuição para incerteza	
Tipo	Descrição	(Wh)	Tipo	Divisor	$u(x_1)$	$c_1$	$c_1 * u(x_1)$	$u_{l(y)}^2$
A	Variabilidade	0,01154	Normal	1	0,01154	1	0,01154	0,000133
B	Resolução do medidor sob calibração	1,0	Retan.	$\sqrt{3}$	0,5773	1	0,5773	0,3332
B	Exatidão do padrão	0,816	Retan.	$\sqrt{3}$	0,4711	1	0,4711	0,2219
B	Incerteza do padrão	0,00123	Normal	$k = 2$	0,000615	1	0,000615	$3,78 \times 10^{-7}$
B	Resolução do padrão	0,5	Retan.	$\sqrt{3}$	0,2886	1	0,2886	0,0832
$u_c = 0,7991$								

Fonte: Do Autor (2022).

Em seguida, é possível calcular quantos graus de liberdade que a bancada elétrica padrão tem, pois foi obtido o resultado final das incertezas combinadas. Com o valor da incerteza combinada é possível multiplicar pelo valor tabelado encontrado no livro Iso Gum.

$$v_{eff} = \frac{u^4 c(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u^4(x_i)}{v_i}} = \frac{0,7991^4}{\frac{0,01154^4}{3-1} + \frac{0,5773^4}{\infty} + \frac{0,4711^4}{\infty} + \frac{0,000123^4}{\infty} + \frac{0,2886^4}{\infty}} = 4,59 \times 10^{-11} \quad (11)$$

Tabela 5: Tabelas de graus de liberdade

Graus de liberdade	95,45%
4	2,87
5	2,65
6	2,52

Fonte: Gum final (2008)

$$U = k \times uc = 0,7991 \times 2,65 = \pm 2,11 \text{ Wh} \quad (12)$$

É relevante citar que a incerteza expandida final pode ser exibida na mesma unidade da grandeza medida ou em valor relativo (exemplo: porcentagem). Em contrapartida, o valor numérico da incerteza deve ser produzido com 1 ou 2 algarismos significativos.

Portanto, pode-se apresentar o resultado como sendo:  $(125,04 \pm 2,11) \text{ Wh}$ .

### 3.7 ELABORAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

A ABNT NBR ISO/IEC 17025, item 5.10, de 2005, estabelece que a apresentação de resultados fornecida pelos laboratórios deve relatar os resultados de forma precisa, clara e objetiva, além das informações necessárias à interpretação.

O item 5.10.2 da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 de 2005 estabelece que, a menos que o laboratório tenha uma razão legítima para não o fazer, cada certificado de calibração deve incluir pelo menos as seguintes informações:

- a) Título (ex.: "Certificado de Calibração").
- b) O nome e endereço do laboratório e o local onde a calibração foi realizada.

- c) Identificação única.
- d) Nome e endereço do cliente.
- e) Identificação do método de utilização.
- f) Descrição, condições e identificação clara dos itens de calibração.
- g) Data de recebimento do item (se necessário) e data da calibração.
- h) Resultados da calibração usando unidades de medida apropriadas.
- i) O nome, título e assinatura ou identificação equivalente da pessoa autorizada a emitir o certificado de calibração.
- j) Quando relevante, declarar resultados apenas para itens de calibração.

Além dos requisitos em 5.10.2 da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 de 2005, o item 5.10.4.1 estabelece ainda que, quando for necessária a interpretação dos resultados da calibração, o certificado de calibração deve incluir o seguinte:

- a) As condições sob as quais a calibração é realizada (por exemplo, ambiente) influenciam os resultados da medição.
- b) Incerteza de medição e/ou declaração de conformidade com uma especificação metrológica identificada.
- c) Evidência de rastreabilidade das medições.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para fazer a calibração de medidores de energia elétrica, é fundamental que uma pessoa capacitada faça todos os cálculos relativos as incertezas de medições e os erros que possivelmente haverá no momento da calibração dos medidores de energia elétrica. Após esses cálculos desenvolvidos é possível estimar os valores com maior precisão.

Com base nos cálculos para identificar os erros de medições da bancada elétrica foi possível chegar no valor de  $\pm 1,2648$  a incerteza do padrão. Esse erro foi calculado através de várias fórmulas mostradas no procedimento experimental e foi possível chegar nesse valor através do certificado de calibração da bancada padrão que pode ser observado na imagem a seguir.



Figura 11 – Certificado de calibração da bancada elétrica.

Configuração da UST: Software Smartem - Ensaio Básico - Monofásico - Registrador - Fase C - 60Hz						
Tensão aplicada à UST [V]	Corrente aplicada à UST [A]	Cos $\phi$	Erro relativo		k	V <sub>eff</sub>
			MM UMP [%]	IM [%]		
120	34	1 res	-0,154	0,031	2,00	$\infty$

Fonte: Autor (2022).

Para calcular as incertezas de medição da bancada elétrica, foi de suma importância, saber qual seria o valor correto do erro absoluto, pois como podemos perceber acima na imagem, a bancada elétrica possui um erro relativo de -0,154%, e é obrigatório que esse erro seja levado em consideração, uma vez que quando a bancada estiver marcando 4080 Wh, na verdade o valor real corrigido será de aproximadamente 4073,7168. Vale ainda destacar que em cada ponto de corrente houve um erro relativo diferente, porém foi levado em consideração nesse trabalho o pior erro registrado.

Após fazer todos esses cálculos foi possível fazer a combinação das incertezas, que consiste em combinar as incertezas do tipo A e do tipo B. Os valores combinados resultaram no valor final de aproximadamente 0,7991 para as cinco incertezas combinadas.

Com os valores das incerteza padrão e da incerteza combinada, chegou-se nos graus de liberdade que a bancada elétrica têm. O valor em graus de liberdade corresponde a aproximadamente 5 graus de liberdade. Em seguida calculou-se a incerteza expandida da mesma, na qual resultou em aproximadamente 2,11 Wh.

Portanto, a bancada elétrica trifásica, atende adequadamente as normas técnicas vigentes, uma vez que toda a bancada e toda a metodologia para ensaios e calibrações de medidores de energia elétrica foram baseados nas normas 587 e 285 do Inmetro.

## 5 CONCLUSÃO

Ao longo de todo o estudo sobre erros de incertezas de medições foi possível observar como se comporta as estatísticas metrológicas do processo de análises de erros que existem por trás de um ensaio e ou calibração. Foi elaborado uma sequência para cada cálculo estatístico afim de conseguir chegar no resultado mais preciso.

Com todos os cálculos feitos é possível ir muito além do ensaio em que diz se o medidor de energia elétrica está aprovado ou reprovado, pois sabendo os erros do padrão é possível analisar cada interferência que pode estar ocorrendo na calibração. O grande diferencial neste trabalho é justamente os cálculos das incertezas, pois muitas empresas de calibração, apenas fazem o ensaio em que diz se o relógio de energia elétrica foi aprovado ou reprovado e acaba ficando muito vago uma vez que no relatório apenas são emitidos dados sem saber da onde vem cada valor.

O LAMETRO, laboratório de metrologia da UniSatc irá dentro de poucos meses fazer o escopo de acreditação RBC (rede brasileira de calibração), para equipamentos elétricos, e este trabalho ajudará no que tange a bancada de ensaios e calibração de medidores de energia elétrica.

Considera-se, assim, que o objetivo desse trabalho de conclusão de curso foi alcançado, uma vez que é apresentado e analisado os principais testes exigidos pelas normas 587 e 285 do Inmetro e seus respectivos cálculos de incertezas de medições.

Propõe-se para desenvolvimento futuro, um projeto que irá integrar o dispositivo Smartem da bancada de ensaios e calibrações com o sistema da web da Unisatc, afim de deixar arquivado no banco de dados todos os ensaios e calibrações realizados na instituição.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ter dado saúde e forças para superar as dificuldades enfrentadas durante todo o processo de aprendizagem.

Agradeço a minha noiva Thalia, por todo amor, apoio e incentivo dado, o que contribuiu para a conclusão deste trabalho.

A Universidade UniSatc, pela oportunidade de fazer essa graduação de Engenharia Mecatrônica.

A Fapesc (Fundação de Amparo à pesquisa e Inovação de Santa Catarina), que custeou a aquisição da bancada elétrica.

Agradeço a minha mãe Nacioni, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu Pai Domingos, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que para mim foi muito importante.

Obrigado meu irmão Filipe, que mesmo na sua dificuldade de vida, me mostra a cada dia como a vida é linda.

## REFERÊNCIAS

GUM, Iso; Antônio Carlos Baratto Avaliação de dados de medição – **Guia para expressão de incerteza de medição**. 2008

CAVALCANTI, Gustavo Oliveira; DOS SANTOS, Maria Regina Fragoso. Parametrização Remota de Medidores de Vazão Eletromagnético. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 6, n. 4, p. 10-18, 2021.

CORRÊA SOUZA, Ariane *et al.* A influência dos acessórios e conectores nos resultados de ensaios de descargas parciais em cabos isolados de média tensão, segundo a IEC 60502-1: 2004. **Revista de Tecnologia Aplicada**, v. 10, n. 3, 2021.

DE CONTI MACEDO, Gustavo et al. **Sistemas energéticos na história e a construção de paradigmas na economia política**. 2006.

GARCIA, Agenor Gomes Pinto. **Impacto da lei de eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria**. 2003.

GERALDI, Douglas et al. **Estudo do micro geração distribuída no contexto de redes Inteligentes**. 2013.

JUNIOR, Geraldo Motta Azevedo et al. **Modelo de automatização do calibrador fluke modelo 5720a e do multímetro digital hewlett packard 3458a**. *Projectus*, v. 4, n. 4, p. 55-64, 2019.

MARTINS, Mário Rui Pita Ferreira. **Trânsito de energia trifásico probabilístico**. 2012.

MÍNGUEZ, Agustín. **Medidores de energia ativa: funcionamento, práticas usuais, principais ensaios e análise das fraudes mais comuns**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2007.

Mínguez, Agustín. "**Medidores de Energia Ativa: Funcionamento, práticas usuais, principais ensaios e análise das fraudes mais comuns**" 2007.

NETO, Hugo Napoleão de Sousa. **Avaliação e Testes de Medidores Eletroeletrônicos**. 2021.

INMETRO. Portaria Inmetro nº 431, de 04 de dezembro de 2007, **Regulamento Técnico Metrológico de Medidores de energia elétrica**, 2007.

INMETRO. Portaria Inmetro nº 587, de 05 de novembro de 2012, **Regulamento Técnico Metrológico de Medidores de Energia Eletrônicos**, 2012b.

INMETRO. Portaria Inmetro nº 285, de 11 de agosto de 2008, **Regulamento Técnico Metrológico de Medidores de Energia Eletromecânicos**, 2008.

INMETRO. Portaria Inmetro nº 232, de 08 de maio de 2012. **Vocabulário Internacional de Metrologia VIM, 2012.**

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa n414/2010.**

Rios, L. R. F., Batista J.P.A., Ribeiro F. R., Diório, F. A., Mafra Jr., J. J., Ribeiro, C. A. **S. Padrão de Energia para Calibração de Medidores em Laboratório ou em Campo, 2010.**