



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JOSÉ WANDERSON LIMA DE SOUZA

**CONTROLE DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE MASSAS EM
ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS DO GRANDE RECIFE**

Recife

2021

JOSÉ WANDERSON LIMA DE SOUZA

**CONTROLE DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE MASSAS EM
ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS DO GRANDE RECIFE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento Oliveira.

Recife

2021

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S729c Souza, José Wanderson Lima de.
Controle da eficiência de sistemas de medição de massas em estabelecimentos comerciais do Grande Recife / José Wanderson Lima de Souza. - 2021.
65 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento Oliveira.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Mecânica, 2021.
Inclui Referências.

1. Engenharia mecânica. 2. Metrologia legal. 3. Ensaio metrológicos. 4. Incerteza de medição. 5. Balanças. 6. Verificação. I. Oliveira, Carlos Augusto do Nascimento (Orientador). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.)

BCTG/2021- 180

JOSÉ WANDERSON LIMA DE SOUZA

**CONTROLE DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE MASSAS EM
ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS DO GRANDE RECIFE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do grau em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 27/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento Oliveira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Francisco Espedito de Lima (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Pablo Batista Guimarães (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a DEUS, segundo a minha família por todo suporte dado e por fim aos amigos que tiveram participação direta ou indiretamente.

Um agradecimento especial ao meu orientador Carlos Augusto do Nascimento Oliveira pela atenção, paciência e direcionamento durante o transcorrer deste trabalho.

Finalmente, gostaria de agradecer a oportunidade e apoio dado tanto pela Universidade Federal de Pernambuco como pelo IPEM/PE, fazendo com que a concretização deste trabalho torna-se possível após muito esforço e dedicação.

RESUMO

Este trabalho faz um estudo comparativo entre alguns setores, escolhidos aleatoriamente, localizados na Região Metropolitana do Recife. Através da aplicação da Metrologia legal, que trata mais da parte normativa, foram coletados em campo os dados, através da realização de ensaios metrológicos para posterior análise e cálculo das respectivas incertezas de medições. Como as balanças utilizadas durante os ensaios possuem três faixas de pesagem, iremos nos deparar com uma grande variação nos resultados obtidos que provavelmente estará associado a mudança de intervalo do instrumento e a fonte de incerteza repetibilidade. Os instrumentos utilizados para a realização das coletas dos dados foram balanças comerciais (IPNA's) com as deposições das massas-padrão em suas plataformas, para que assim fosse possível atestar as qualidades das medições, mediante os resultados finais gerados. Lembrando que este serviço de fiscalização/verificação é realizado por uma Rede metrológica presente em todo o território nacional, onde através dos Orgãos Delegados do INMETRO (IPEM's), os Agentes Metrológicos saem a campo para realizar tais práticas e garantir uma relação de consumo justa e igualitária entre consumidor e proprietário.

Palavras-chave: metrologia legal; ensaios metrológicos; incerteza de medição; balanças; verificação.

ABSTRACT

This work does a comparative study between a few sectors chosen at random, located in the Metropolitan Region of Recife. Through the application of legal Metrology, which is more about the normative part, data was collected in the field, through metrological tests for later analysis and calculation of measurement uncertainties. As the scales used during the tests have three weighing ranges, we will encounter a large variation in the results obtained, which is probably associated with the change in the range of the instrument and the source of uncertainty in repeatability. The instruments used for data collection was commercial scales (IPNA's) putting the standard masses in their platform to be possible to certify the quality of measurement by the generated results. Reminding that this inspection service is carried out by a metrological network present in all national territory where through the agencies in charge of INMETRO (IPEM's), the Metrological Agents go out into the field to carry out these practices and guarantee a fair and equal consumption relationship between consumers and owners.

Keywords: legal metrology; metrological tests; measurement uncertainty; scale; inspection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da formação do erro de medição.....	18
Figura 2 - Esquema para análise do erro aleatório	21
Figura 3 - Esquema para análise do erro sistemático.....	22
Figura 4 - Resultado de medição: a saída do processo de medição.....	24
Figura 5 - Resultado da medição e sua incerteza associada	24
Figura 6 - Representação da distribuição retangular de probabilidades.....	30
Figura 7 - Representação da distribuição triangular de probabilidades.....	30
Figura 8 - Distribuição normal de probabilidades	31
Figura 9 - Balança digital UPX C6MT.....	40
Figura 10 - Massas-padrão de Classes F1 e M1.....	41
Figura 11 - Ensaio de excentricidade, conforme a geometria do receptor de carga.....	43
Figura 12 - Representação das fontes de incerteza para uma medição de massa com uma balança.....	44
Figura 13 - Interface do GUM Worbench.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média dos Comércios por Setor (2000 g)	52
Gráfico 2 - Média dos Comércios x Incerteza (2000 g).....	52
Gráfico 3 - Média dos Comércios por Setor (5000 g)	53
Gráfico 4 - Média dos Comércios x Incerteza (5000 g).....	54
Gráfico 5 - Média dos Comércios por Setor (10000 g)	55
Gráfico 6 - Média dos Comércios x Incerteza (10000 g).....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor de t_p (V_{eff}) para v graus de liberdade	34
Tabela 2 - Identificação do Setor através do Município correspondente	39
Tabela 3 - Resolução x Faixa de Pesagem	39
Tabela 4 - Dados coletados no Setor A	48
Tabela 5 - Dados coletados no Setor B	49
Tabela 6 - Dados coletados no Setor C	49
Tabela 7 - Dados coletados no Setor D	50
Tabela 8 - Incerteza final relativa ao Operador	57
Tabela 9 - Limites mínimo e máximo para a massa padrão de 2000 g	57
Tabela 10 - Limites mínimo e máximo para a massa padrão de 5000 g	58
Tabela 11 - Limites mínimo e máximo para a massa padrão de 10000 g	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PERGUNTA DE PESQUISA	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
1.3	OBJETIVOS.....	13
1.3.1	Objetivo Geral	13
1.3.2	Objetivos Específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	METROLOGIA	14
2.2	A METROLOGIA LEGAL NO BRASIL.....	14
2.2.1	Histórico	15
2.2.2	Estrutura da Metrologia Legal no Brasil	16
2.2.3	Legislação Metrológica	17
2.2.4	Principais Leis Federais	17
2.3	A MEDIÇÃO	18
2.4	ERROS DE MEDIÇÃO	18
2.5	CLASSIFICAÇÃO DOS ERROS DE MEDIÇÃO	20
2.5.1	Erros Aleatórios	20
2.5.2	Erros Sistemáticos	21
2.5.3	Erros Grosseiros	22
2.6	INCERTEZA DE MEDIÇÃO	23
2.6.1	Incerteza Padrão	24
2.6.1.1	Incerteza tipo A	25
2.6.1.2	Incerteza tipo B	25
2.6.2	Incerteza Combinada	26
2.6.3	Incerteza Expandida	26
2.7	AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO PELO MÉTODO ISO GUM 2008	27
2.7.1	Definição do Mensurando e Fontes de Entrada	27
2.7.2	Modelagem	28
2.7.3	Estimativa das Fontes de Incerteza	28
2.7.3.1	Avaliação da incerteza padrão tipo A	28
2.7.3.2	Avaliação da incerteza padrão tipo B	29

2.7.4	Propagação de Incertezas	31
2.7.5	Estimativa da Incerteza Expandida	33
2.8	NORMA NIE – DIMEL 084/2015	34
2.8.1	Algumas Definições Importantes Presentes na Norma	35
2.8.1.1	Verificação de um instrumento de medição	35
2.8.1.2	Instrumento de pesagem não automático	35
2.8.1.3	Valor de divisão de verificação (e)	35
2.8.1.4	Valor de divisão real (d)	35
2.8.1.5	Avaliação do erro	35
2.8.1.5.1	<i>INSTRUMENTOS COM INDICAÇÃO ANALÓGICA</i>	<i>36</i>
2.8.1.5.2	<i>INSTRUMENTOS COM INDICAÇÃO DIGITAL</i>	<i>36</i>
2.9	VERIFICAÇÃO EM BALANÇAS	37
3	METODOLOGIA	39
3.1	SELEÇÃO DOS SETORES PARA COLETA DOS DADOS	39
3.2	SELEÇÃO DO INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO	39
3.3	DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE MEDIÇÕES	40
3.4	REALIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES	40
3.4.1	Medidas Materializadas	41
3.4.2	Ensaio de Medição nas Balanças	41
3.4.2.1	Ensaio em verificação subsequente	42
3.4.2.2	Ensaio de excentricidade de cargas	42
3.5	FONTES DE INCERTEZA ASSOCIADAS A MEDIÇÕES DE MASSA ..	43
3.6	AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES	48
4.1.1	Análise gráfica dos Resultados	50
4.2	INCERTEZA FINAL POR SETOR	56
5	CONCLUSÕES	60
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

A confiança é vital para permitir que a metrologia ligue as atividades humanas entre si através de fronteiras geográficas e profissionais. Isto é tão mais importante quando sabemos que o valor verdadeiramente exato de uma grandeza é, por natureza, indeterminado. Vale dizer que medir com exatidão é condição bastante, mas não suficiente, para que seja percebida a “qualidade” de uma medição. É necessário, igualmente, confiança nos processos, métodos, padrões, instrumentos de medição e, especialmente, na competência técnica para a execução e para a gestão das operações metrológicas. (GUIMARÃES, 2008)

A descrição de um fenômeno ou processo só fica completamente clara quando características destes podem ser quantificadas, sendo a quantificação feita por meio de medições. (GONÇALVES JUNIOR; SOUZA, 2008)

E dentro de todo esse contexto, a Metrologia Legal desempenha importante papel se ocupando “basicamente” de instrumentos de medição e de produtos pré-medidos, e sempre atuando nos serviços de verificação e fiscalização como meio de proteção do consumidor, garantindo assim a credibilidade nas medições (CARVALHO et al., 2003)

1.1 PERGUNTA DE PESQUISA

Qual a importância da Metrologia legal na fiscalização de instrumentos de medição usados no comércio de produtos alimentícios?

1.2 JUSTIFICATIVA

Sem a participação dos Agentes de Metrologia Legal, sempre visitando os estabelecimentos comerciais para proceder à atividade de fiscalização dos instrumentos de medição, em especial, a fiscalização de IPNA (Instrumentos de Pesagem Não Automáticos), mas conhecidos como balanças, onde em tal serviço são feitos alguns exames que vão desde administrativos a metrológicos, não seria possível para nós consumidores identificarmos se determinado instrumento é legal para tais práticas comerciais. Logo, é de fundamental importância esse tipo de atividade para que haja uma relação de consumo igualitária, havendo um equilíbrio de

modo que ambas as partes, tanto o consumidor quanto o proprietário, não saia em desvantagem nessa relação comercial.

Levando em consideração todo esse contexto, o IPEM tem um papel importantíssimo quando o assunto se refere à proteção do consumidor, pois, uma vez que o fiscal metrológico aprova o instrumento em questão, o mesmo passa a ter a credibilidade e garantia do INMETRO de que aquele é um instrumento correto, apresentando indicações corretas embasados no Regulamento Técnico Metrológico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Verificar a qualidade e eficiência das medições em balanças digitais encontradas no comércio de produtos alimentícios na região metropolitana do Recife.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Estudar a legislação vigente quanto a normas para uso de balanças em comercio de produtos alimentícios;
- b) Identificar os setores da região metropolitana do Recife que serão objeto para a realização das medições e coleta de dados;
- c) Planejar o experimento relacionado com as medições dentro dos estabelecimentos comerciais;
- d) Verificar a eficiência das balanças comerciais através dos resultados de medição e da sua incerteza;
- e) Analisar a confiabilidade metrológica nos setores da Região metropolitana do Recife.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 METROLOGIA

É a ciência da medição e suas aplicações. (VIM, 2012)

Engloba vários aspectos relacionados diretamente ao processo de medição e a legislação vigente fundamenta bem sua aplicação no que diz respeito as atividades de fiscalização e verificação em balanças. (CAMPOS; SILVA, 2014)

Basicamente, a Metrologia se divide em: Metrologia Científica, Metrologia Industrial e Metrologia Legal.

A Metrologia Científica trata, fundamentalmente, dos padrões de medição internacionais e nacionais, dos instrumentos laboratoriais e das pesquisas e metodologias científicas relacionadas ao mais alto nível de qualidade metrológica.

A Metrologia Industrial trata da aplicação de metrologia no controle dos processos produtivos e na garantia da qualidade dos produtos finais.

Já a Metrologia Legal tem como objetivo principal proteger o consumidor tratando das unidades de medidas, métodos e instrumentos de medição de acordo com as exigências técnicas e legais obrigatórias. Com a supervisão do governo, o controle metrológico estabelece adequada transparência e confiança com base em ensaios imparciais. A exatidão dos instrumentos de medição garante a credibilidade nos campos da economia, saúde, segurança e meio ambiente. (JUNIOR; SOUZA, 2008)

2.2 A METROLOGIA LEGAL NO BRASIL

A Metrologia Legal, tendo como órgão executivo e através da Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade, no qual é utilizado um modelo descentralizado de atuação, desempenha um papel muito importante no que se refere as atividades de verificações e inspeções relativas aos instrumentos de medição, fiscalização da conformidade dos produtos e do controle da exatidão das indicações quantitativas dos produtos pré-medidos de acordo com a legislação vigente. (INMETRO, 2021).

2.2.1 Histórico

A Metrologia legal no Brasil precede a Lei 5966 de 12 de dezembro de 1973 que criou o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro), do qual o Inmetro é o órgão executivo central. (FILHO; SORATTO, 2013)

Já nos anos 30 fora promulgada a primeira legislação nos moldes de uma “Lei de Metrologia”, mas a implantação de um controle metrológico, a nível nacional, só se iniciou a partir dos anos 60, com a criação do Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM), cujas atividades foram incorporadas pelo Inmetro e atribuídas à Diretoria de Metrologia legal.

Cabe assim ao Inmetro, através da Diretoria de Metrologia Legal, observando a competência que lhe é atribuída pelas leis 5966/73, 9933/99, 10829/03 e pela resolução 11, de 12 de outubro de 1988, do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro), organizar e executar as atividades de metrologia legal no País.

No Brasil, estão sujeitos à regulamentação metrológica e ao controle metrológico, ação própria de um organismo de metrologia legal, os instrumentos de medição e medidas materializadas que interessem à incolumidade das pessoas nas áreas de saúde, da segurança e do meio ambiente, e os produtos pré-medidos.

Como em todas as sociedades organizadas, o desenvolvimento tecnológico, econômico e social tem, também no Brasil, determinado a efetiva implantação do controle metrológico dos instrumentos de medição. Cobrindo inicialmente apenas as medições em transações comerciais, as atividades de metrologia legal vêm sendo estendidas, gradualmente, às demais áreas previstas na legislação.

Novos instrumentos de medição devem ter seu modelo aprovado pelo Inmetro, que examina, ensaia e verifica se o mesmo está adequado para a sua finalidade.

Após a fabricação, cada instrumento deve ser submetido à verificação inicial para assegurar sua exatidão antes de uso.

Quando está em utilização, o seu detentor é o responsável pela manutenção de sua exatidão e uso correto, sendo o mesmo controlado por verificações periódicas e inspeções.

A Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade - Inmetro (RBMLQ-I), presente em cada estado, através de órgãos delegados pelo Inmetro, efetua o controle

de equipamentos e instrumentos para assegurar que os consumidores estão recebendo medidas corretas.

O Inmetro também trabalha para assegurar que a metrologia legal seja uniformemente aplicada através do mundo, realizando um papel ativo em cooperação com o Mercado Comum do Sul (Mercosul) e a organização Internacional de Metrologia Legal (OIML). (INMETRO, 2021)

2.2.2 Estrutura da Metrologia Legal no Brasil

O Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro) estabelece as diretrizes a serem seguidas pelo Inmetro. Dessa maneira, o Conmetro é parte integrante da estrutura de metrologia legal no Brasil, determinando a área de atuação do Inmetro através de suas resoluções.

Órgão do governo federal vinculado ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), o Inmetro é responsável pelas ações desenvolvidas no âmbito da metrologia legal no país.

O Inmetro pode delegar a execução de atividades de sua competência. No que se refere às atribuições relacionadas à metrologia legal e à avaliação da conformidade, dotadas de poder de polícia administrativa, a delegação fica restrita a entidades públicas que reúnam os atributos necessários para essa realização.

O Inmetro está presente em todo território nacional através de um modelo descentralizado de atuação, com delegação de ações na área de metrologia e de avaliação da conformidade a órgãos públicos, localizados nos Estados, que constituem a Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade – Inmetro (RBMLQ-I).

Braço executivo do Inmetro, a RBMLQ-I é responsável pelas verificações e inspeções relativas aos instrumentos de medição regulamentados, pela fiscalização da conformidade dos produtos e pelo controle da exatidão das indicações quantitativas dos produtos pré-medidos, de acordo com a legislação em vigor.

Como país membro da Organização internacional de Metrologia Legal (OIML), o Brasil busca sempre alinhar sua atuação em metrologia legal aos parâmetros internacionais definidos por essa organização. Isso significa dizer, por exemplo, que os Regulamentos Técnicos Metrológicos (RTM) são embasados, sempre que possível, nas recomendações da OIML. Nas elaborações dos regulamentos, os técnicos do Inmetro pesquisam o que a OIML já publicou sobre o assunto,

incorporando ao texto os requisitos técnicos e metrológicos cabíveis. Com isso, o Brasil cumpre o seu papel no acordo de barreiras técnicas ao comércio, pois, seguindo as normas e recomendações internacionais em seus regulamentos, não estará criando barreiras à entrada de produtos no país e estará facilitando a exportação de produtos. (INMETRO, 2021)

2.2.3 Legislação Metrológica

No Brasil, a metrologia legal tem por objetivo garantir a credibilidade dos resultados das medições realizadas no âmbito da segurança, da saúde, do meio ambiente e das transações comerciais (de acordo com a Lei nº 9933/1999). Como o Inmetro é o órgão responsável pelas ações do Estado no campo da metrologia, ele poderá atuar sempre que a utilização de instrumentos de medição e medidas materializadas envolver algum desses aspectos. Ele também tem como competência elaborar e expedir, com exclusividade, Regulamentos Técnicos metrológicos para produtos pré-medidos.

A legislação metrológica é constituída por leis, resoluções e portarias, que dão o amparo legal às atividades do Inmetro. Além de cumprir o que lhe foi determinado por lei pelo presidente da República, o Inmetro elabora atos normativos que embasam suas próprias atividades. Esses atos são portarias que aprovam os Regulamentos Técnicos Metrológicos e as portarias de aprovação de modelo. (INMETRO, 2021)

2.2.4 Principais Leis Federais

- Lei nº 5966, de 11 de dezembro de 1973: lei de criação do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), que passou a coordenar todas as ações nacionais no campo da metrologia, da normalização e da certificação da qualidade de produtos industriais.
- Lei nº 9933, de 1999: dispõe sobre as competências do Conmetro e do Inmetro.
- Lei nº 12545, de 2011: altera a Lei nº 9933, de 1999. Entre outras determinações, modifica o nome do Inmetro para Instituto nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

- Lei nº 12249, de 2010: institui a taxa em vigor de serviços metrológicos cobrados pelo Inmetro e pelos órgãos da RBMLQ-I.

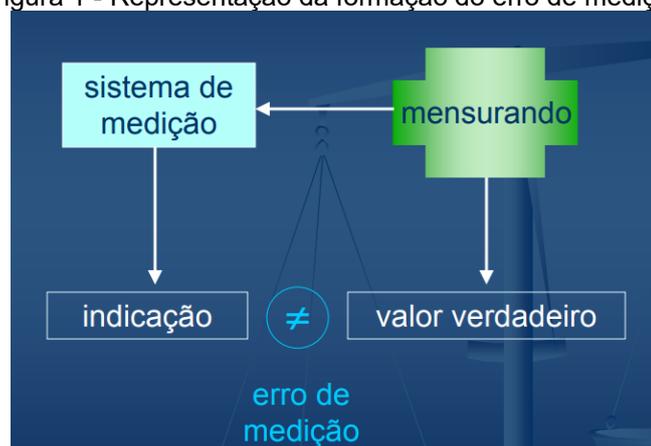
2.3 A MEDIÇÃO

É o procedimento experimental pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física (grandeza a medir) é determinado como um múltiplo e/ou fração de uma unidade, estabelecida por um padrão.

A medição assenta-se sobre uma base científica e altamente organizada chamada “metrologia”, ou seja, a ciência da medição. Esta ciência fundamenta toda a abordagem sistemática por meio da qual quantificamos as características da qualidade. (THEISEN, 1997)

2.4 ERROS DE MEDIÇÃO

Figura 1 - Representação da formação do erro de medição



Fonte: SlideServe, 2014.

A figura acima nos mostra que quando há afastamentos entre as indicações retornadas pelo sistema de medição e o valor verdadeiro do mensurando temos o que chamamos de erro de medição. (DONATELLI; KONRATH, 2005)

Por mais que um técnico que faça os ensaios em um instrumento de medição seja competente e aplicado, os dados experimentais obtidos nunca terão precisão e exatidão absoluta; porém alguns dados são mais precisos (ou exatos) do que outros, e é necessário estabelecer uma medida que permita verificar quão bom é o valor da medição. (LIMA JUNIOR et al., 2012)

O erro de medição é definido como o resultado de uma medição menos o valor verdadeiro (convencional) do mensurando. Essa definição de erro fica bem evidenciada na figura 1 acima. Já o mensurando é o objeto da medição, ou seja, a grandeza específica submetida à medição. (LIRA, 2008)

É impossível efetuar uma medição em que não haja erros, visto que o resultado da medição sofre influência de vários fatores. Só seria possível realizar uma medição sem erros se pudessemos ter o controle de todas as variáveis que direta ou indiretamente afetam os resultados obtidos. Como na prática o sistema não é perfeito, as condições ambientais também exercem influência, o operador não é perfeito e até o próprio mensurando tem valores diferentes sem uma completa definição e estabilidade. (GONÇALVES JUNIOR; SOUZA, 2008)

A importância do estudo dos erros reside em descobrir meios de reduzi-los principalmente quando é possível aplicar-se correções diminuindo seus impactos negativos e na avaliação da confiabilidade do resultado final das operações de medição.

O objetivo de uma boa medição é o desenvolvimento de uma medição com um apropriado grau de exatidão e precisão. Mas a “exatidão” e “precisão” da medição são expressas quantitativamente por uma estimativa do erro. Para poder avaliar a qualidade de uma medição, o metrologista precisará ter conhecimento dos conceitos de análise de erros.

Concisamente falando, o erro é a diferença algébrica entre o valor nominal ou indicado por um sistema de medição e o valor verdadeiro convencional ou atual. As partes conhecidas do erro de medição podem ser compensadas por meio de correções apropriadas, em especial se tratando das parcelas correspondentes aos erros sistemáticos. (THEISEN, 1997)

O controle da fonte de erros é algo importantíssimo quando se deseja obter um maior domínio do processo de medição, garantindo assim melhores resultados.

De fato, existem vários fatores em um processo de medição que produzem erro, ou seja, que contribuem para que o resultado de medição se desvie do seu alvo.

Em um experimento real há, geralmente, várias fontes de erros. Sem a pretensão de esgotar todas as fontes de erros possíveis de se observar, podemos destacar:

- Calibração do instrumento;
- Condições de uso e armazenamento do instrumento;

- Interação instrumento-objeto;
- Variáveis que não conseguimos (ou não desejamos) controlar. (LIMA JUNIOR et al., 2012)

2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS ERROS DE MEDIÇÃO

Uma vez que nenhuma medida é feita com exatidão total, o estudo dos erros é necessário para a avaliação dos processos de medida. Desejamos os efeitos perturbadores do elemento principal que estamos investigando. O fato de estarmos estudando a questão de erros não significa que esperamos fazer todas as medições com um extremo grau de exatidão. As medidas não podem ser chamadas de boas ou más, meramente no grau de exatidão, mas sim pela sua adequação sob dadas condições. (THEISEN, 1997)

Em geral, podemos classificar os erros em três tipos: aleatórios, sistemáticos e grosseiros.

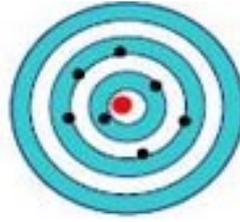
2.5.1 Erros Aleatórios

São erros imprevisíveis associados com a variabilidade natural dos processos físicos. O que causa flutuações nos valores encontrados. (CABRAL, 2004)

É a diferença entre o resultado de uma medição e a média de um número infinito de medições do mesmo mensurando sob condições de repetitividade. Para um número grande de medições observam-se variações de valores em torno de um valor médio que se manifesta de forma imprevisível. Como na prática o número de medições é finito, é possível apenas estimar o erro aleatório. Os fatores que contribuem para o aparecimento de tal erro podem ser devidos aos atritos, vibrações, folgas, flutuações de rede, instabilidade interna, condições ambientais, etc.. (LIRA, 2008)

A figura 2 mostra um esquema que pode facilitar o entendimento do erro aleatório. Neste caso, os pontos estão espalhados em torno do centro. Na esquerda, na direita, acima e abaixo. A média dos valores será próximo ao alvo, no entanto é difícil prever onde o próximo ponto atingirá.

Figura 2 - Esquema para análise do erro aleatório



Fonte: Gomes; Cardozo; Ramos, 2009.

O erro aleatório pode ser calculado pela equação 2.1:

$$Ea_i = I_i - \bar{I} \quad (2.1)$$

Onde:

Ea_i – erro aleatório da i -ésima medição;

I_i - i -ésima medição;

\bar{I} - média das medições.

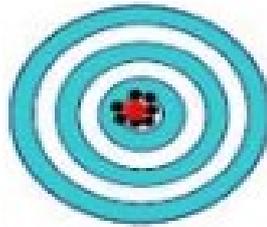
2.5.2 Erros Sistemáticos

É a diferença entre a média de um número infinito de medições do mesmo mensurando e o valor verdadeiro do mensurando quando são obedecidas as condições de repetitividade. O erro sistemático pode ser causado por um desgaste do sistema de medição, por um dos ajustes, por fatores construtivos, pelo método de medição, por condições ambientais, etc. Na maioria das vezes, o mesmo não é constante na faixa de operação do sistema de medição, tornando-o de difícil previsão.

As condições de repetitividade são obtidas com os mesmos parâmetros durante a medição. Por exemplo, o mesmo operador, o mesmo local e instrumentos, tomada das leituras com um intervalo de tempo curto, mesmo método de medição, mesma condição ambiental. (LIRA, 2008)

São erros previsíveis e que correspondem ao erro médio (GONÇALVES JUNIOR; SOUZA, 2008) O erro sistemático permanece constante ou varia de uma maneira que é possível a previsão. Consequentemente, é possível aplicar uma correção para compensar esse tipo de erro. (SILVA, 2012) A figura 3 mostra um esquema que pode facilitar o entendimento deste tipo de erro.

Figura 3 - Esquema para análise do erro sistemático



Fonte: Gomes; Cardozo; Ramos, 2009.

Para se estimar o erro sistemático de um sistema de medição devem ser efetuadas infinitas medições de um mensurando de valor real conhecido. Como é impossível a realização de infinitas medições assim como conhecer o valor real do mensurando, o erro sistemático na prática, é determinado por meio de uma estimativa chamada de tendência. (GONÇALVES JUNIOR; SOUZA, 2008)

A tendência é definida pela equação 2.2:

$$T_d = I - VVC \quad (2.2)$$

Onde:

T_d – tendência;

I – média de um número finito de medições;

VVC – valor verdadeiro convencional;

O valor verdadeiro convencional é uma aproximação do valor verdadeiro.

2.5.3 Erros Grosseiros

A origem do erro grosseiro pode ser fortemente identificada: leitura errônea, defeito do sistema de medição, manipulação indevida, anotação errada, etc. Embora a eliminação completa deste tipo de erro seja impossível, sua causa deve ser detectada e reduzida, principalmente com o treinamento do pessoal envolvido. Erros grosseiros acontecem quando se atribui falta de cuidado ou maus hábitos, como leitura imprópria no instrumento, anotação dos resultados diferentes dos valores lidos, ajuste incorreto do instrumento, erros devidos a cargas dos circuitos e dos instrumentos, instrumentos fora de zero, etc., os quais não podem ser tratados

matematicamente. Descuido com paralaxe também constitui uma forma deste tipo de erro. (LIRA, 2008)

2.6 INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando. (LIRA, 2008)

A incerteza do resultado de uma medição reflete a falta de conhecimento associado ao valor da grandeza a ser medida. O resultado de uma medição, mesmo devido à correção devido aos efeitos relativos a erros sistemáticos conhecidos, é somente uma estimativa do valor da grandeza devido à incerteza proveniente dos efeitos dos erros aleatórios e da correção imperfeita do resultado para efeitos devido aos erros sistemáticos. (PORTAL ACTION, 2017)

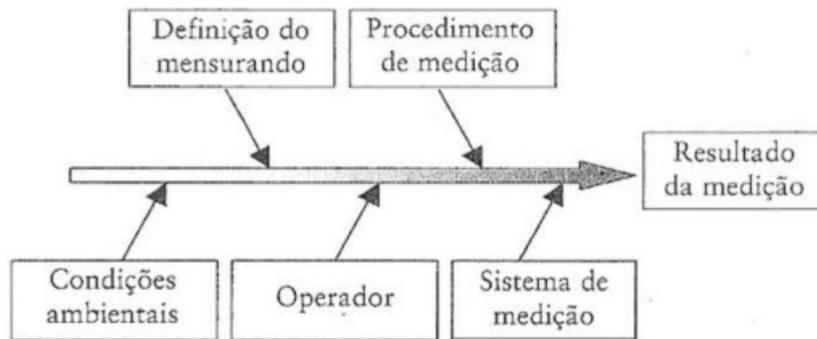
A incerteza de medição inclui componentes provenientes de efeitos sistemáticos, tais como componentes associados a correções e a valores atribuídos a padrões. Algumas vezes, não são corrigidos efeitos sistemáticos estimados, mas em vez disso, são incorporadas componentes de incerteza associadas. (VIM, 2012)

Quando relatamos o resultado de uma medição é necessário apresentar alguma informação sobre a qualidade do resultado, ou seja, não basta saber qual o valor medido, mas é preciso saber também qual a qualidade da informação para que seja possível avaliar a confiabilidade. Um resultado de medição só pode ser considerado completo quando acompanhado da incerteza de medição.

O valor obtido em uma medição é apenas uma estimativa do resultado, na verdade não conhecemos o valor real da medição, devido à limitação dos equipamentos de medição, variações nas condições ambientais, influência de usuários, métodos de medição, etc., não podemos afirmar que o resultado de medição é um número, o que podemos dizer é que o resultado de uma medição corresponde a uma faixa de valores dentro de uma probabilidade definida. (ACCPR, 2017)

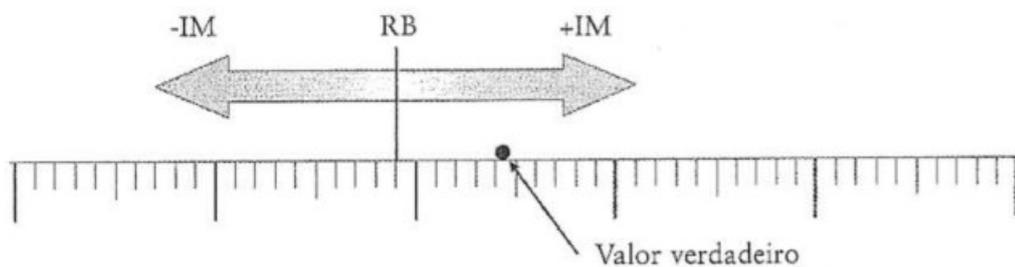
As figuras 4 e 5 a seguir mostram, respectivamente, os parâmetros envolvidos no processo de medição e o resultado de base com a sua incerteza de medição associada.

Figura 4 - Resultado de medição: a saída do processo de medição



Fonte: Gonçalves Junior; Souza, 2008.

Figura 5 - Resultado da medição e sua incerteza associada



Fonte: Gonçalves Junior; Souza, 2008.

As incertezas podem ser classificadas em três tipos: incerteza padrão (u), incerteza padrão combinada (u_c) e incerteza expandida (U).

2.6.1 Incerteza Padrão

Quando a incerteza é expressa na forma de um desvio padrão ela é chamada de incerteza padrão. (VIM, 2012)

A incerteza de medição geralmente engloba muitas componentes. Algumas delas podem ser estimadas por uma avaliação do tipo A da incerteza de medição, a partir da distribuição estatística dos valores provenientes de séries e podem ser caracterizadas por desvios-padrão. As outras componentes, as quais podem ser estimadas por uma avaliação do tipo B da incerteza de medição, podem também ser caracterizadas por desvios-padrão estimados a partir de funções de densidade de probabilidade baseada na experiência ou em outras informações. (VIM, 2012)

Sendo assim, a avaliação da incerteza padronizada pode ser classificada em dois tipos: tipo A ou tipo B.

2.6.1.1 Incerteza tipo A

A avaliação do tipo A da incerteza de medição pode ser expressa pelo desvio experimental da média, ou seja, a melhor estimativa do valor do mensurando, na ausência de efeitos sistemáticos, é obtida através da média aritmética de N observações repetidas do mesmo mensurando. O desvio padrão experimental da média é, neste caso, uma medida de incerteza associado ao valor da média, indicando a repetitividade da medição. (ISO GUM, 2012)

A incerteza tipo A pode ser calculada pela equação 2.3:

$$S_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (2.3)$$

Onde:

$S_{\bar{x}}$ - incerteza de medição;

s – desvio padrão correspondente as N leituras;

N – número de medidas.

2.6.1.2 Incerteza tipo B

Método de avaliação da incerteza por meios outros que não sejam pela análise estatística de séries de observações. (LIRA, 2008)

Neste caso, a avaliação da incerteza é baseada em outros conhecimentos, tais como:

- a) Dados históricos de desempenho do método de medição;
- b) Incertezas herdadas da calibração dos instrumentos e padrões;
- c) Especificações dos equipamentos e padrões;
- d) Faixas de condições ambientais, entre outros. (ISO GUM, 2012)

2.6.2 Incerteza Combinada

A incerteza combinada deriva da combinação das incertezas padrão das variáveis de entrada. (PORTAL ACTION, 2017) Ela quantifica os efeitos da ação de várias fontes de incerteza.

As variáveis de entrada podem ser estaticamente independentes, quando suas variações aleatórias não apresentam nenhum tipo de sincronismo, ou dependentes, quando apresentam. (PORTAL ACTION, 2017) Para o seu cálculo são estabelecidas duas equações: uma para quando não há correlação entre as incertezas das fontes de entrada (não correlacionadas) e outra quando há correlação das fontes de entrada. (ISO GUM, 1995)

2.6.3 Incerteza Expandida

Grandeza que define um intervalo em torno do resultado de uma medição com a qual se espera abranger uma grande fração da distribuição dos valores que possam ser razoavelmente atribuídos ao mensurando. (LIRA, 2008)

Eventualmente, a incerteza-padrão combinada pode ser utilizada para expressar a incerteza de um resultado de medição. Porém, em algumas aplicações comerciais, industriais, regulamentares, e quando a saúde e segurança estão em foco, se faz necessária a declaração que defina um intervalo em torno do resultado de medição. Espera-se que esse intervalo possa abranger uma grande porção da distribuição de valores que podem razoavelmente ser atribuídos ao mensurando. A incerteza expandida U , para uma mesma probabilidade de abrangência, é estimada pela equação (2.4). A sua probabilidade de abrangência geralmente citada é 95% ou 95,45%. (ISO GUM, 1995).

$$U = k * u_c(y) \tag{2.4}$$

Onde:

U – incerteza expandida;

k – fator de abrangência (escolhido com base no nível de confiança requerido para o intervalo);

$u_c(y)$ – incerteza padrão combinada.

2.7 AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO PELO MÉTODO ISO GUM 2008

Como forma de harmonizar o processo de avaliação de incertezas onde quer que ele seja feito a ISO (International Organization for Standardization) e o BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) se reuniram para elaborar um guia para a expressão da incerteza de medição. Esse guia foi publicado como uma norma ISO (ISO/IEC Guide 98-3 “Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)) e como um guia da JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology).

De acordo com o GUM, a avaliação da incerteza segue os seguintes passos:

- Definição do mensurando e fontes de entradas;
- Modelagem;
- Estimativa das incertezas das fontes de entrada;
- Propagação das incertezas;
- Estimativa da incerteza expandida.

2.7.1 Definição do Mensurando e Fontes de Entrada

Dentre as etapas de cálculo, as mais importantes são a definição e a modelagem do mensurando. Uma boa fundamentação para a modelagem do mensurando certamente possibilitará uma avaliação mais realista da incerteza, que contemplará grande parte das fontes que impactam no mensurando.

Geralmente o mensurando não é obtido diretamente, mas determinado a partir de “n” grandezas de entrada, por meio de uma relação funcional, como mostrado na equação (2.5). (BERNARDES; COSTA-FÉLIX, 2017)

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.5)$$

As grandezas de entrada x_1, x_2, \dots, x_n , sobre o qual o valor de saída y depende, pode ser uma medida ou depender de outras variáveis, incluindo correções e fatores de correções para efeitos sistemáticos. A função f pode ser determinada experimentalmente, ou existe somente, como um algoritmo que pode ser avaliado numericamente.

As grandezas de entrada x_1, x_2, \dots, x_n podem ser caracterizadas, como:

- Quantidade cujos valores e incertezas são determinados diretamente da medição. Esses valores e incertezas podem ser obtidos de uma simples observação, repetidas observações ou julgamentos baseados na experiência.
- Valores e incertezas, os quais são conduzidos para uma medição de fontes externas. (PORTAL ACTION, 2017)

2.7.2 Modelagem

Nem sempre é possível medirmos o mensurando de forma direta. Porém, podemos determiná-lo por meio de uma relação que envolva várias grandezas distintas. Sendo o mesmo modelado em função destas.

Por exemplo, um mensurando ($y = I_B$) que nos desse a indicação de uma balança, em um processo de calibração de uma balança digital utilizando massas padrão, seria função do valor nominal da massa padrão (M_S), da correção do empuxo do ar (dE) e da correção do valor da massa padrão (dM_S). (LIRA, 2008)

Sendo assim, ele seria modelado como mostra a equação (2.6) abaixo.

$$I_B = f(M_S, dE, dM_S) = M_S + dE + dM_S \quad (2.6)$$

2.7.3 Estimativa das Fontes de Incerteza

2.7.3.1 Avaliação da incerteza padrão tipo A

Frequentemente, a incerteza-padrão associada a uma ou mais fontes de incerteza é estimada a partir de medições repetidas do mesmo mensurando, mediante a equação (2.3). Trata-se, portanto de um procedimento estatístico. (GONÇALVES JUNIOR; SOUZA, 2008)

2.7.3.2 Avaliação da incerteza padrão tipo B

As avaliações da incerteza do tipo B são utilizadas quando é muito difícil realizar observações repetidas (ou quando não faz sentido realizar tais observações). (LIMA, 2012)

Nem sempre é prático, ou mesmo possível, usar procedimentos estatísticos para estimar a incerteza-padrão de uma determinada fonte de incerteza. Outras informações disponíveis devem ser utilizadas. Trata-se de procedimentos não estatísticos, também denominados de procedimentos tipo B.

Informações conhecidas a priori sobre o comportamento aleatório da fonte de incerteza ou deduzida por observações das suas características são consideradas. Informações extraídas das especificações técnicas do sistema de medição, informações históricas obtidas de medições anteriores, de certificados de calibração e mesmo estimativas baseadas na experiência de especialistas, são exemplos de conhecimentos a priori que são levados em consideração. (GONÇALVES JUNIOR; SOUZA 2008)

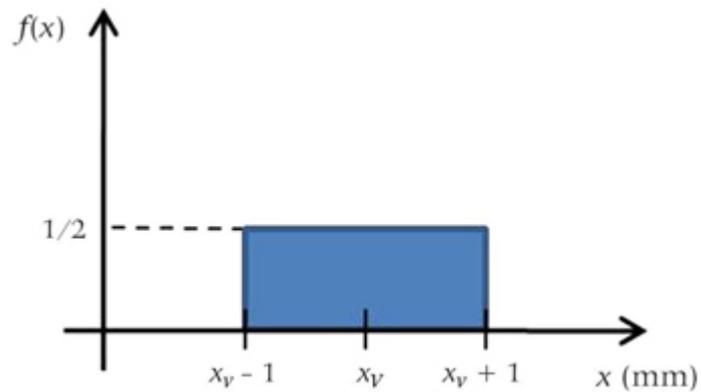
Para estimar a incerteza do tipo B é importante levar em consideração todas as informações disponíveis que estejam relacionadas à qualidade do resultado de medição. Uma maneira de fazer isso é propor a priori uma distribuição de probabilidades (por exemplo, gaussiana, retangular, triangular, multinomial) que seja adequada para descrever a distribuição dos resultados de medição em torno do valor verdadeiro do mensurando ou do conjunto de valores verdadeiros que podem ser atribuídos a esse mensurando. Essa distribuição de probabilidades deve possuir pelo menos duas propriedades: (1) ela deve ser ajustável às informações prévias relevantes à determinação da qualidade do resultado de medição; (2) ela deve permitir a tradução dessas informações relevantes em uma quantidade que possa ser interpretada como desvio padrão. (LIMA JUNIOR; SILVEIRA, 2011)

A figura 6 ilustra uma distribuição de probabilidade retangular.

Se a incerteza, $u(x_i)$, tem uma distribuição retangular em um intervalo simétrico de $-a$ até $+a$, a estimativa de incerteza padrão é definida como na equação (2.7).

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2.7)$$

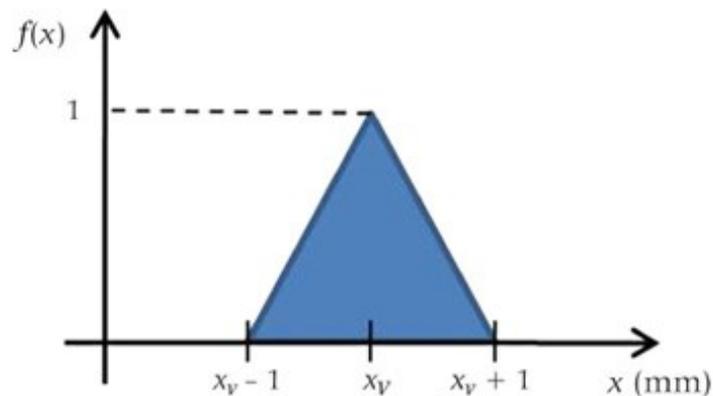
Figura 6 - Representação da distribuição retangular de probabilidades



Fonte: Gonçalves Junior; Souza 2008.

Na distribuição triangular os valores centrais tem mais probabilidade de acontecer. Esse tipo de distribuição é resultado da soma ou subtração de duas variáveis que tem a mesma distribuição retangular. A figura 7 ilustra bem este tipo de distribuição.

Figura 7 - Representação da distribuição triangular de probabilidades



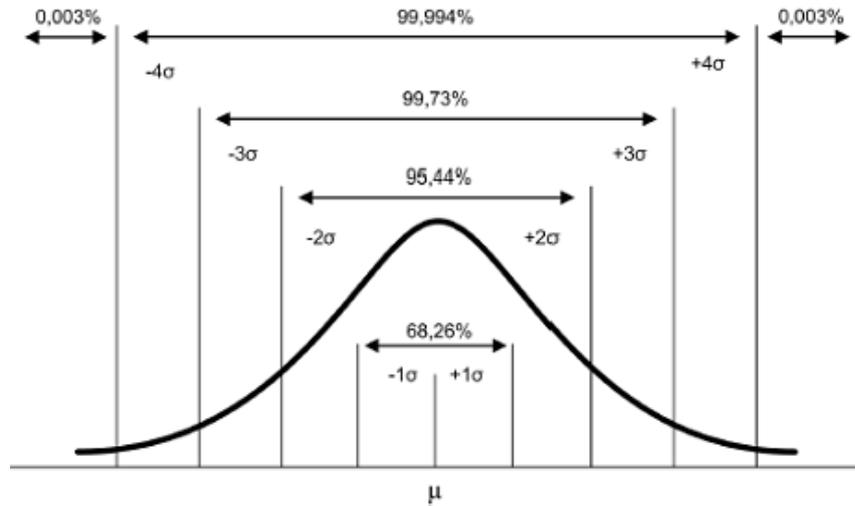
Fonte: Gonçalves Junior; Souza 2008.

Se a incerteza tiver a distribuição triangular em um intervalo de $-a$ até $+a$, a mesma é estimada pela equação 2.8.

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{6}} \quad (2.8)$$

A distribuição normal está ilustrada na figura 8. Como a curva normal é assintótica, os limites do intervalo não representam os limites da curva e sim um intervalo onde se encontra 95% da área abaixo da curva.

Figura 8 - Distribuição normal de probabilidades



Fonte: Portal Action, 2015.

Se, no entanto, a incerteza deriva de um certificado de calibração com informações sobre probabilidade e fator de abrangência (k), a estima da incerteza passa a ser calculada pela equação 2.9. (COUTO, 2008)

$$u(x_i) = \frac{U}{k} \quad (2.9)$$

Onde:

U – incerteza expandida;

K – fator de abrangência.

Esses valores são encontrados no certificado de calibração da fonte de entrada.

2.7.4 Propagação de Incertezas

O método GUM é baseado na Lei de Propagação de Incertezas. Essa metodologia é válida para uma vasta gama de modelos e é gerada por meio de aproximações que simplificam os cálculos.

De acordo com a Lei de Propagação de Incertezas, a propagação é feita pela expansão da equação modelada do mensurando em uma série de Taylor e sua aproximação pelo termo de primeira ordem. (JCGM, 2008a) Essa aproximação é válida, pois os valores das incertezas são muito pequenos em relação aos valores medidos.

Sendo assim, para um mensurando expresso como uma função de N variáveis, como na equação 2.6, a expressão geral para a propagação de incertezas é descrita na equação 2.10.

$$u_c^2(y) = \sum_{t=1}^N \left(\frac{\delta f}{\delta x_1} \right)^2 u^2(x_1) + \sum_{t=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\delta f}{\delta x_1} \frac{\delta f}{\delta x_j} u(x_i, x_j) \quad (2.10)$$

Onde:

$u_c(y)$ – incerteza padrão combinada do mensurando y;

$u(x_i)$ – incerteza padrão associada com a variável de entrada x_i ;

$u(x_i, x_j)$ – covariância estimativa associada com x_i e x_j .

O segundo termo da equação 2.10 está relacionado com a correlação entre as variáveis de entrada. As derivadas parciais $\frac{\delta f}{\delta x}$, chamadas de coeficiente de sensibilidade, descrevem a variação das estimativas de saída y de acordo com mudança nas estimativas de entrada $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. (JCGM, 2008a) O grau de correlação entre elas pode ser caracterizado pelo coeficiente de correlação, conforme equação 2.11.

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i)u(x_j)} \quad (2.11)$$

Se não há correlação entre as variáveis de entrada, o segundo termo da equação (2.10) não exerce influência sobre a incerteza combinada, podendo ser simplificado como na equação 2.12.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\delta f}{\delta x_1} \right)^2 u^2(x_i) \quad (2.12)$$

2.7.5 Estimativa da Incerteza Expandida

O fator de abrangência é um fator que é utilizado como multiplicador da incerteza padrão para encontrar a incerteza expandida. (JCGM, 2008a) Esse fator é escolhido de acordo com o nível de confiança requerido para o intervalo do mensurando.

No entanto, a obtenção do valor do fator de convergência (k_p) que gera um intervalo correspondente a um nível de confiança (p) requer um conhecimento detalhado da distribuição de probabilidades do mensurando e da sua incerteza combinada. Na maioria das vezes, as distribuições de probabilidades das grandezas de entrada são estimativas, o nível de confiança associado a um determinado intervalo não são conhecidos com exatidão e encontra-se dificuldade na convolação de distribuições de probabilidade. Por isso, se faz uso de aproximações para a obtenção do fator de convergência. (JCGM, 2008a)

Essa aproximação é feita com o auxílio do cálculo do número efetivo de graus de liberdade obtido pela fórmula de Welch-Satterthwaite, conforme equação 2.13.

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_c^4(y)}{v_i}} \quad (2.13)$$

A incerteza expandida é obtida pela multiplicação da incerteza padrão combinada com o fator de abrangência, mediante equação 2.14.

$$U = K_p * u_c(y) = t_p(v_{eff}) * u_c(y) \quad (2.14)$$

Onde:

U – incerteza expandida;

K_p – fator de abrangência;

$U_c(y)$ – incerteza padrão combinada.

O valor de $t_p(v_{eff})$ pode ser consultado na tabela 1. Se o valor de v_{eff} obtido da equação 2.13 não for um número inteiro, o valor de t_p pode ser encontrado por interpolação ou aproximação de v_{eff} até o próximo inteiro inferior. Para uma

distribuição aproximadamente normal e graus de liberdade de tamanho significativo pode-se aproximar para $k=2$ um intervalo com nível de confiança de 95% e para $k=3$ um intervalo de confiança de 99%. (JCGM, 2008a)

Tabela 1 - Valor de t_p (V_{eff}) para v graus de liberdade

Degrees of freedom ν	Fraction p in percent					
	68,27	90	95	95,45	99	99,73
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6	1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7	1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
8	1,07	1,86	2,31	2,37	3,36	4,28
9	1,06	1,83	2,26	2,32	3,25	4,09
10	1,05	1,81	2,23	2,28	3,17	3,96
11	1,05	1,80	2,20	2,25	3,11	3,85
12	1,04	1,78	2,18	2,23	3,05	3,76
13	1,04	1,77	2,16	2,21	3,01	3,69
14	1,04	1,76	2,14	2,20	2,98	3,64
15	1,03	1,75	2,13	2,18	2,95	3,59
16	1,03	1,75	2,12	2,17	2,92	3,54
17	1,03	1,74	2,11	2,16	2,90	3,51
18	1,03	1,73	2,10	2,15	2,88	3,48
19	1,03	1,73	2,09	2,14	2,86	3,45
20	1,03	1,72	2,09	2,13	2,85	3,42
25	1,02	1,71	2,06	2,11	2,79	3,33
30	1,02	1,70	2,04	2,09	2,75	3,27
35	1,01	1,70	2,03	2,07	2,72	3,23
40	1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45	1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
∞	1,000	1,645	1,960	2,000	2,576	3,000

Fonte: Gonçalves Junior; Souza, 2008.

2.8 NORMA NIE – DIMEL 084/2015

Esta norma estabelece os procedimentos para verificação e inspeção de instrumentos de pesagem não automáticos (IPNA) das classes III e IV, com carga máxima (Max) até 1000 kg, ensaiados com aplicação direta de pesos-padrão até a carga máxima.

2.8.1 Algumas Definições Importantes Presentes na Norma

2.8.1.1 Verificação de um instrumento de medição

Procedimento que compreende o exame, a marcação e/ou a emissão de um certificado de verificação, e que constata e confirma que o instrumento de medição satisfaz às exigências regulamentares.

2.8.1.2 Instrumento de pesagem não automático

Instrumento que necessita da intervenção do operador durante o processo de pesagem, por exemplo, para depositar ou retirar do receptor a carga a ser medida e também para a obtenção do resultado.

2.8.1.3 Valor de divisão de verificação (e)

Valor expresso em unidades de massa utilizado para a “classificação e a verificação” de um instrumento (menor divisão).

2.8.1.4 Valor de divisão real (d)

Valor expresso em unidades de massa da diferença entre os valores correspondentes a duas marcas de escala consecutivas, para uma indicação analógica, ou a diferença entre duas indicações consecutivas, para uma indicação digital.

2.8.1.5 Avaliação do erro

Quando a avaliação do erro é feita, é importante levar em consideração o erro de arredondamento, pois, normalmente durante a verificação, não é possível mostrar a indicação com valor de divisão menor do que (e). O único caso, onde não há necessidade de cargas adicionais, é quando não há diferença entre a carga aplicada e a indicação, durante todo o ensaio.

2.8.1.5.1 Instrumentos com indicação analógica

Para instrumentos com indicação analógica, a avaliação do erro é feita calculando-se a diferença entre o valor indicado (I) e o valor nominal da carga (L) aplicada sobre o instrumento, como mostra a equação 2.15.

$$E = I - L \quad (2.15)$$

Onde:

E – erro de medição;

I – valor indicado (indicação);

L – valor nominal da carga.

2.8.1.5.2 Instrumentos com indicação digital

Para os instrumentos com indicação digital, os pontos de mudança de indicação são utilizados para determinar a indicação do instrumento, antes do arredondamento, como descrito a seguir:

Para uma certa carga (L), o valor indicado (I) é anotado. Pesos adicionais de 0,1e são, sucessivamente, adicionados até que a indicação do instrumento aumente, sem ambiguidade, de um valor de divisão real ($I + e$). A carga adicional ΔL colocada sobre o receptor de carga dá uma indicação (P) antes do arredondamento, usando-se a equação (2.16):

$$P = I + \left(\frac{1}{2}\right)e - \Delta L \quad (2.16)$$

Onde o erro antes do arredondamento é dado pela equação (2.17):

$$E = P - L = I + \left(\frac{1}{2}\right)e - \Delta L - L \quad (2.17)$$

O erro corrigido antes do arredondamento é dado pela equação (2.18):

$$E_c = E - E_0 \quad (2.18)$$

Onde:

P – é a indicação antes do arredondamento (indicação digital);
 I – é o valor indicado pelo instrumento;
 e – é o valor de divisão de verificação;
 ΔL – é a carga adicional;
 E – é o erro antes do arredondamento;
 E_c – é o erro corrigido antes do arredondamento;
 E_0 – é o erro calculado em zero ou para uma carga próxima de zero;
 ema – é o erro máximo admissível.

2.9 VERIFICAÇÃO EM BALANÇAS

A balança é submetida a verificação metrológica e a fiscalização pelo Inmetro, através do Ipem e, no caso de atendimento a legislação metrológica, os instrumentos receberão a marca de verificação, indicando o seu prazo de validade.

Essas verificações metrológicas tem por objetivo constatar a conformidade com o modelo aprovado, bem como verificar se os instrumentos cumprem com os erros máximos permitidos, além de observar as marcas de verificação e plano de selagem. A validade da verificação é de 1 (um) ano, conforme estabelece o item 11.1 do Regulamento Técnico Metrológico.

O Regulamento Técnico Metrológico se aplica a todos os instrumentos de pesagem não automáticos segundo a finalidade de sua utilização, conforme o estabelecimento no subitem 1.2.1 do Regulamento. Esses instrumentos se distinguem para esse efeito em instrumentos empregados para:

- a) Determinação da massa para transações comerciais;
- b) Determinação da massa para cálculo de pedágio, tarifa, imposto, prêmio, multa, remuneração, subsídio, taxa ou tipo similar de pagamento;
- c) Determinação da massa para aplicação de uma legislação ou uma regulamentação, ou para perícias judiciais;
- d) Determinação da massa na prática médica no que concerne a pesagem de pacientes por razões de vigilância, de diagnóstico e de tratamento médico;
- e) Determinação da massa para fabricação de medicamentos segundo a receita em farmácia e determinação de massas quando efetuadas nos laboratórios médicos e farmacêuticos;

- f) Determinação do preço em função da massa para venda direta ao público e para confecção de mercadorias pré-medidas. (IPEM, 2017)

3 METODOLOGIA

3.1 SELEÇÃO DOS SETORES PARA COLETA DOS DADOS

A escolha dos setores, objeto deste trabalho, ocorreu de forma aleatória, sendo esta pesquisa conduzida na Região Metropolitana do Recife (RMR). Foram selecionados quatro setores sendo classificados em A, B, C e D, respectivamente e com a identificação dos Municípios/Cidades conforme tabela 2 descrita abaixo. Em cada subdivisão foram analisados quatro estabelecimentos comerciais com balanças digitais instaladas.

Tabela 2 - Identificação do Setor através do Município correspondente

Setor	Município
A	Abreu e Lima
B	Paulista
C	Recife
D	Jaboatão

Fonte: O Autor, 2021.

3.2 SELEÇÃO DO INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO

Os instrumentos de medição utilizados foram IPNAs (Instrumentos de pesagem não automáticos), de classe de exatidão III e IV, mas conhecidos como balanças comerciais, encontrados nos estabelecimentos comerciais de uma maneira geral. A figura 9, a seguir, mostra a imagem de uma balança digital de marca UPX, modelo C6MT, classe de exatidão III, de múltiplas faixas (6/15/30), muito utilizada em estabelecimentos comerciais, espalhados pelo Estado de Pernambuco. E lembrando que a resolução do instrumento varia conforme a sua faixa de pesagem, conforme mostra a tabela 02 a seguir:

Tabela 3 - Resolução x Faixa de Pesagem

Resolução (g)	Faixa de pesagem (g)
2	Até 6000
5	6000 a 15000
10	15000 a 30000

Fonte: O Autor, 2021.

Figura 9 - Balança digital UPX C6MT



Fonte: Site upxsolution, 2021.

As balanças usada neste estudo apresentavam as seguintes características:

- Capacidade de 30000 g
- Resolução – 2 g até 6000 g, 5 g no intervalo de 6000 a 15000 g e 10 g no intervalo de 15000 g até a capacidade máxima.
- Display Digital
- Indicador de nível de bateria
- Dimensões (A x L x P) - 130 x 310 x 340 mm
- Alimentação - Bivolt.

3.3 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE MEDIÇÕES

Primeiro, foram definidas 3 cargas para realização das medições. A escolha dessas se deu pelo fato de se encaixar perfeitamente naquilo que queríamos, ou seja, está dentro do ensaio a ser realizado (excentricidade), verificando assim as três faixas do instrumento de medição, de forma a realizar um ensaio mais coerente.

Foram realizadas cinco medições para cada carga utilizada, totalizando desta forma 15 medições por cada instrumento fiscalizado.

3.4 REALIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES

Realizaremos todas as medições necessárias utilizando medidas materializadas com geometria e dimensões bem definidas seguindo todas as etapas presentes na norma NIE dimel 084/2015 e a Portaria 236/94 conforme o ensaio de excentricidade de carga descrito.

3.4.1 Medidas Materializadas

Para realização dos ensaios foram utilizados massas-padrão nos valores de 2000 g, 5000 g e 10000 g.

Tanto a massa-padrão de 5000 g como a de 10000 g são de Ferro fundido e massa específica de $7,85 \text{ g/cm}^3$, contidas na Classe de Exatidão M1. Já a massa-padrão de 2000 g é de Aço inoxidável e massa específica de $8,00 \text{ g/cm}^3$, contidas na Classe de Exatidão F1, conforme consta nos Certificados de calibração.

As massas ficam guardadas em estojos (maletas) e transportadas nos veículos utilizados para realização das fiscalizações. Ao chegar ao estabelecimento comercial à equipe responsável faz um ensaio visual dos instrumentos de medição presentes e, a partir deste ponto, seleciona as massas que serão utilizadas no ensaio de acordo com a classe de exatidão da balança, ou seja, de acordo com a capacidade de carga do instrumento e as faixas a serem utilizadas. E como nesse caso foram selecionadas IPNA de classes III e IV, essas Classes de Exatidão das massas (M1 e F1) se enquadram perfeitamente para as realizações dos ensaios.

Normalmente os ensaios são realizados a temperatura ambiente e a umidade varia conforme as condições climáticas daquele dia específico.

Na figura 10, abaixo, vemos duas massas-padrão: a da esquerda da Classe de Exatidão F1 e da direita da Classe M1.

Figura 10 - Massas-padrão de Classes F1 e M1



Fonte: IPEM/PR, 2018.

3.4.2 Ensaio de Medição nas Balanças

Basicamente temos três tipos de verificações (inicial, subsequente e após reparo) e a inspeção metrológica (fiscalização). Em nosso estudo concentraremos

nossas atenções para a realização de ensaio (s) em verificações subsequentes que apresenta os seguintes tipos de ensaios, conforme descrição a seguir.

3.4.2.1 Ensaio em verificação subsequente

- Exatidão do dispositivo de zero;
- Excentricidade de cargas;
- Pesagem;
- Mobilidade;
- Sensibilidade;
- Fidelidade;
- Exatidão do dispositivo de tara e pesagem com tara (se aplicável);
- Estabilidade de equilíbrio (se aplicável).

Para o nosso trabalho, escolhemos o ensaio de excentricidade de cargas por se adequar aquilo que queríamos e também por explorar melhor o instrumento de medição, uma vez que a deposição das cargas não se dará exclusivamente no centro do prato da balança, mas também ao longo das extremidades, fazendo uma varredura mais abrangente e, conseqüentemente, um exame mais completo do estado do instrumento.

3.4.2.2 Ensaio de excentricidade de cargas

Este é apenas um dos ensaios que devem ser efetuados nos IPNA quando submetido a verificações e inspeções em serviços.

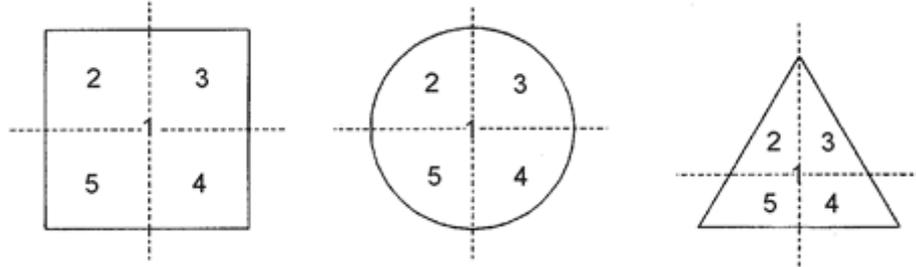
Este tipo de ensaio é descrito pela Norma NIE DIMEL 084 e também pela Legislação metrológica relativa aos instrumentos de pesagem não automáticos, Portaria Inmetro 236/1994.

O mesmo pode ser descrito da seguinte forma:

- a) Aplicar uma carga L de ensaio correspondente a $1/3$ da soma da carga máxima (Max) e do efeito aditivo de tara se aplicável;
- b) Aplicar a carga em cada um dos quatro segmentos, iguais a aproximadamente $1/4$ da área da superfície do receptor de carga, e carregando cada segmento

de modo sucessivo e no sentido horário, partindo do centro, conforme a figura 11 abaixo:

Figura 11 - Ensaio de excentricidade, conforme a geometria do receptor de carga



Fonte: Norma Nie-Dimel 084, 2015.

- c) Determinar o erro corrigido de acordo com 11.11;
- d) Verificar se o erro corrigido de cada resultado, $E_c \leq ema$.

3.5 FONTES DE INCERTEZA ASSOCIADAS A MEDIÇÕES DE MASSA

As fontes de incerteza que têm influência na medição de massa são vastas e em algumas situações complicadas de relacionar. A figura 12 apresenta um esquema que relaciona algumas das fontes de incerteza associadas a medições de massa.

Apesar de muitas fontes consultadas, aplicarem apenas as fontes de incerteza mais comuns nos cálculos de incerteza de massa, neste trabalho, para identificar as fontes de incerteza, foram consultados alguns artigos e normas. Para este trabalho foram levados em consideração, principalmente, as fontes de incerteza detalhadas no Guia Relacre 8 – Determinação da Incerteza da Calibração de Massas. Neste guia é apresentado o procedimento a seguir na avaliação da melhor incerteza de um laboratório de metrologia de massa, além da incerteza dos resultados da calibração.

Figura 12 - Representação das fontes de incerteza para uma medição de massa com uma balança



Fonte: Carmona; Pereira, 2006.

As fontes de incerteza identificadas como pertinentes para o cálculo da incerteza de massa são:

- Repetibilidade (R) - Tipo A;
- Resolução da balança (RB) – Tipo B;
- Incerteza associada ao Padrão de Massa (M) – Tipo B;
- Incerteza associada as condições ambientais (CA) – Tipo B;
- Incerteza associada ao operador (O) – Tipo B.

Para maiores detalhes relacionados as fontes de incertezas utilizadas neste trabalho recomendamos que o leitor consulte o Guia Relacre 8, bem como os artigos relacionados.

A incerteza padrão combinada para as medições realizadas com as balanças é calculada através da equação (2.19) abaixo.

$$u_{balança} = \sqrt{u_R^2 + u_{RB}^2 + u_M^2 + u_{CA}^2 + u_O^2} \quad (2.19)$$

A Repetitividade é uma incerteza estatística associada a variação das medidas obtidas por um operador, utilizando o mesmo equipamento de medição e método ao medir repetidas vezes uma mesma grandeza de uma única peça. (CARMONA; PEREIRA, 2006)

A Resolução da balança é uma incerteza herdada e está associada ao menor valor que a balança pode medir. Também conhecido como, valor de divisão real (d) e

expresso em unidades de massa. Corresponde à diferença entre duas indicações consecutivas, levando em consideração uma balança digital. (INMETRO, 2013)

A incerteza do padrão de massa é uma incerteza herdada. Seus critérios são consultados no certificado de calibração do padrão de massa.

A incerteza associada as condições ambientais leva em consideração a temperatura e umidade. Segundo a bibliografia, essa incerteza pode ser desprezada para massas de classe de exatidão inferiores ou iguais a E2, quando são seguidos os critérios:

1. Temperatura estável, a $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, entre 18°C e 25°C , bem como aguardar o sistema atingir temperatura estável;
2. Umidade relativa estável, a $\pm 5\%$, entre 40% e 60% .

A incerteza associada ao operador, considerada neste trabalho como do tipo B, que constitui uma parcela fixa da incerteza global, tem sua quantificação efetuada através de um estudo experimental prévio. Neste trabalho, o cálculo da incerteza associada ao operador é baseado nos critérios do ISO GUM e do Guia Relacre. (GUIA RELACRE, 2000)

Este trabalho teve as medições realizadas sempre pelo mesmo operador e, no caso da incerteza associado ao operador, foram levadas em consideração medidas feitas para as massas padrão de 2000 g, 5000 g e 10000 g. Foram usados dados de três estabelecimentos comerciais dos setores A, B e C. Para o setor A, foram usadas as medições com a massa padrão de 2000 g, para o setor B foram usadas as medições com a massa padrão de 5000 g e o setor C teve sua representação com a massa padrão de 10000 g.

O cálculo da incerteza para o operador segue os passos relacionados a seguir:

1. O cálculo da variância relacionada ao operador para cada um dos estabelecimentos é realizado com a aplicação da equação 2.20.

$$S_E^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2 \quad (2.20)$$

Onde:

S_E^2 é a variância para cada um dos estabelecimentos;

X_j é o valor de cada uma das medições;

\bar{X} é a média das medições;

n é o número de medições, para cada estabelecimento, neste caso o número de medições é 5.

2. O cálculo da variância relacionada aos setores A, B e C é realizada com a aplicação da equação 2.21 e 2.22.

$$S_S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2 \quad (2.21)$$

Onde:

S_S^2 é a variância para cada um dos setores em análise;

X_j é o valor das medições;

\bar{X} é a média das medições;

n é o número de medições, no caso dos setores, o número de medições é 10, equivalente a dois estabelecimentos.

$$S_{si}^2 = S_S^2 - \min(S_{E1}^2, S_{E2}^2, S_{E3}^2) \quad (2.22)$$

Onde:

S_{si}^2 é a componente de incerteza associada a atuação de um determinado operador;

S_{E1}^2 é a variância calculada para o primeiro estabelecimento do setor;

S_{E2}^2 é a variância calculada para o segundo estabelecimento do setor;

S_{E3}^2 é a variância calculada para o terceiro estabelecimento do setor;

$$S_O^2 = \min(S_{s1}^2, S_{s2}^2, S_{s3}^2) \quad (2.23)$$

Onde:

S_O^2 é a componente de incerteza associada ao operador;

S_{s1}^2 é a componente de incerteza associada ao operador no setor A;

S_{s2}^2 é a componente de incerteza associada ao operador no setor B;

S_{s3}^2 é a componente de incerteza associada ao operador no setor C;

Neste caso, a incerteza associada ao operador (S_O^2) será o valor mínimo entre as componentes de incerteza S_{si}^2 de cada setor. O valor de S_O^2 é o valor da incerteza

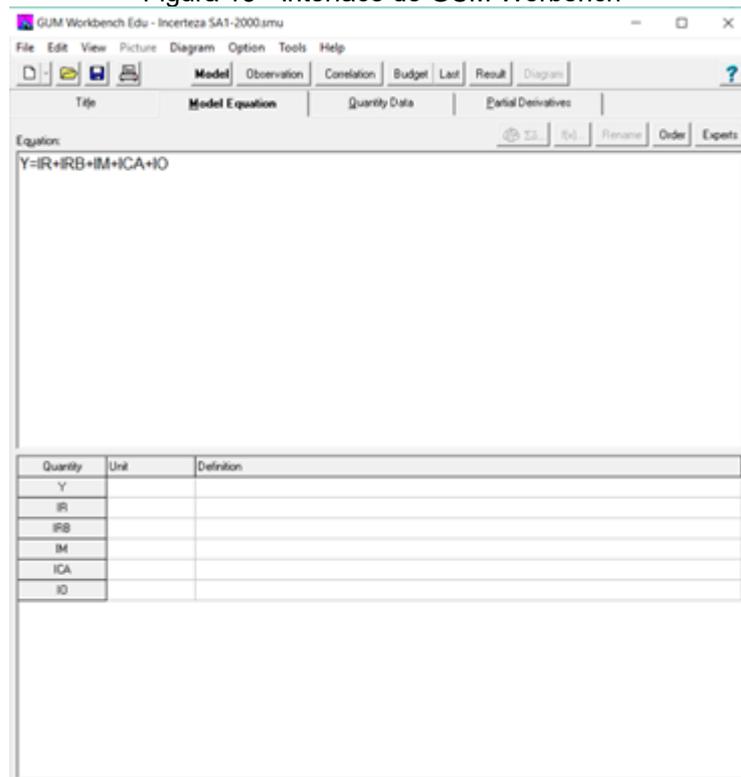
que vai ser usada em todos os cálculos que apresentarem a fonte de incerteza associada ao operador (O).

3.6 AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Com os resultados das medições, iniciou-se o processo de avaliação das medidas por meio dos critérios para estimar a incerteza de medição.

Esta etapa do trabalho foi realizada com a aplicação do software para o cálculo da incerteza GUM Workbench. O GUM Workbench possui uma interface que permite o cálculo da incerteza de medição pelo método ISO GUM e pelo método numérico de simulação de Monte Carlo. A figura 13 mostra a interface do GUM Workbench, onde são exibidas as guias de Model, Model Equation, Quantity Data, Partial Derivates, etc. Estas guias são responsáveis pela identificação do projeto, definição de variáveis, inserção das equações que modelam os parâmetros envolvidos com a incerteza, inserção dos dados, coeficiente de sensibilidade, cálculo da incerteza, apresentação dos resultados, entre outros.

Figura 13 - Interface do GUM Worbench



Fonte: O Autor, 2018.

*Print screen da aplicação no Sistema Operacional Windows 10.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

As tabelas de 3 à 6 apresentam os resultados de medições para cada uma das regiões do Grande Recife avaliadas.

Tabela 4 - Dados coletados no Setor A

SETOR A							
	2000g	5000g	10000g		2000g	5000g	10000g
Comércio 1	2000	5000	9995	Comércio 3	1998	4996	9995
	2000	4998	9995		1998	4996	9995
	1998	4998	9990		1998	4998	9990
	2000	4996	9990		1998	4998	10010
	2000	5002	10000		2000	4996	9990
\bar{x}	1999,6	4999	9994	\bar{x}	1998,4	4996,8	9996
σ	0,89	2,28	4,18	σ	0,89	1,10	8,22
Comércio 2	2000	5000	10000	Comércio 4	1998	4998	10000
	1998	4994	9995		1996	4996	10005
	1998	4996	9995		2000	4998	10000
	2002	5000	10005		2000	4996	9995
	2002	5000	10000		1996	4994	9990
\bar{x}	2000	4998	9999	\bar{x}	1998	4996,4	9998
σ	2,00	2,83	4,18	σ	2,00	1,67	5,70

Fonte: O Autor, 2019.

Tabela 5 - Dados coletados no Setor B

SETOR B							
	2000g	5000g	10000g		2000g	5000g	10000g
Comércio 1	1998	4998	9995	Comércio 3	2000	5000	10000
	1998	4998	9990		2000	5000	9995
	2002	5000	9995		2000	4998	9990
	2002	5000	10000		1998	4994	9990
	1998	5000	10000		1998	4996	9995
μ	1999,6	4999,2	9996	μ	1999,2	4997,6	9994
σ	2,19	1,10	4,18	σ	1,10	2,61	4,18
Comércio 2	1996	4996	9990	Comércio 4	2000	4996	9990
	1998	4996	9990		1998	4998	10005
	1998	4996	10005		1998	4998	9990
	1998	4998	9995		2000	4996	9995
	1996	4998	9995		2000	4996	9990
μ	1997,2	4996,8	9995	μ	1999,2	4996,8	9994
σ	1,10	1,10	6,12	σ	1,10	1,10	6,52

Fonte: O Autor, 2019.

Tabela 6 - Dados coletados no Setor C

SETOR C							
	2000g	5000g	10000g		2000g	5000g	10000g
Comércio 1	1998	4996	9990	Comércio 3	1996	4996	9990
	1998	4996	9995		1996	4996	9990
	2000	4998	9990		1996	4996	9990
	2000	4998	9995		1998	4996	9990
	2002	5002	9995		2002	5004	9995
μ	1999,6	4998	9993	μ	1997,6	4997,6	9991
σ	1,67	2,45	2,74	σ	2,61	3,58	2,24
Comércio 2	2000	5000	10000	Comércio 4	1998	4994	9990
	2000	4998	9995		2000	4998	9995
	2000	5000	10000		2000	4998	9995
	1998	4998	10005		1996	5000	9990
	1998	5000	10000		2000	5000	9995
μ	1999,2	4999,2	10000	μ	1998,8	4998	9993
σ	1,10	1,10	3,54	σ	1,79	2,45	2,74

Fonte: O Autor, 2019.

Tabela 7 - Dados coletados no Setor D

SETOR D							
	2000g	5000g	10000g		2000g	5000g	10000g
Comércio 1	1998	4998	9990	Comércio 3	2000	5000	10000
	1998	4996	9990		2000	5000	10000
	2000	5002	9995		2000	5000	10000
	1998	4998	9995		2000	5000	10000
	1996	4996	9990		2000	5000	9995
\bar{x}	1998	4998	9992	\bar{x}	2000	5000	9999
σ	1,41	2,45	2,74	σ	0,00	0,00	2,24
Comércio 2	1998	5000	10000	Comércio 4	1998	4996	9995
	1998	5000	10005		2000	4998	10000
	2000	5000	10000		2002	5000	10005
	2000	4998	10005		2000	5000	10005
	2002	5000	10000		1998	5002	10010
\bar{x}	1999,6	4999,6	10002	\bar{x}	1999,6	4999,2	10003
σ	1,67	0,89	2,74	σ	1,67	2,28	5,70

Fonte: O Autor, 2019.

Nas tabelas de 3 à 6 podemos identificar os valores da média e dos desvios. Apesar de se tratarem das mesmas massas padrão, visualiza-se uma grande variação entre as balanças das unidades comerciais, objetos da pesquisa. O valor do desvio padrão, para todos os resultados, apresentou limites inferior e superior de 0,00 a 8,22, respectivamente. Os maiores desvios foram de 8,22, 6,52, 6,12, encontrados nos setores A e B, todos com a massa padrão de 10000 g. Os casos onde os desvios padrão foram iguais a zero ocorreram com a massa de 2000 g e 5000 g para dados coletados no setor D. Também deve-se comentar que os maiores desvios foram encontrados para as massas padrão de 10000 g. Este fato pode estar relacionado com a resolução que passa de 2 g até 6000 g para 5 g para massas até 15000 g.

4.1.1 Análise gráfica dos Resultados

Os gráficos de 1 a 6 apresentam o comportamento das medições, obtidos nas balanças, distribuídas por setores. As linhas tracejadas representam os limites superior de controle (LSC) e inferior de controle (LIC) das medições, considerando a resolução. Neste caso, os limites são 2000 ± 2 g, 5000 ± 2 g e 10000 ± 5 g.

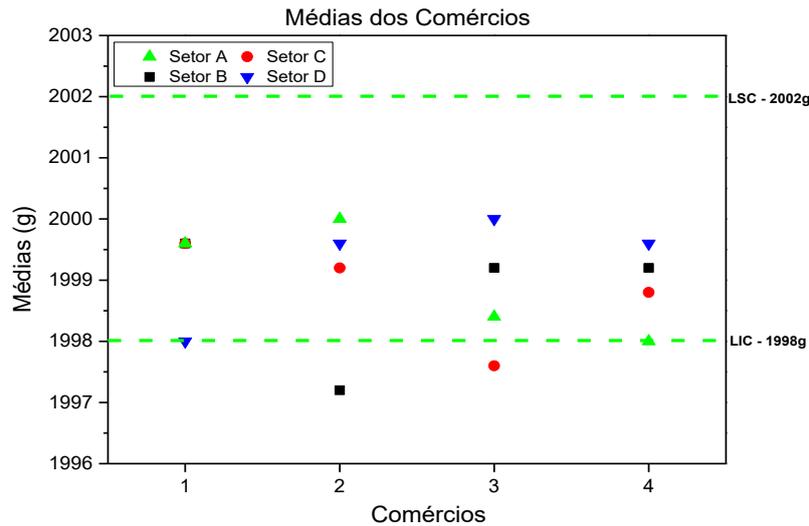
Percebe-se claramente que ao se aumentar o valor da massa avaliada os valores passam a ter um comportamento que extrapola os limites (resolução da

balança). Neste casos, os valores se apresentam sempre abaixo do limite inferior, o que não chega a ser prejudicial para o consumidor, mas indica que as balanças precisam ser reavaliadas.

Ao se analisar os gráficos, observa-se claramente que alguns pontos ficam abaixo do limite inferior, determinado pela resolução do instrumento dentro da faixa de pesagem considerada. A condição ideal seria que a indicação apresentada pela balança fosse igual ao valor de cada massa-padrão depositada sobre as mesmas durante a realização do ensaio de excentricidade de cargas para que dessa forma o erro de medição fosse nulo, em todas as medições realizadas. Porém, na prática, sabemos que essa situação ideal é rara e difícil de ocorrer em função de erros sistemáticos, grosseiros e aleatórios.

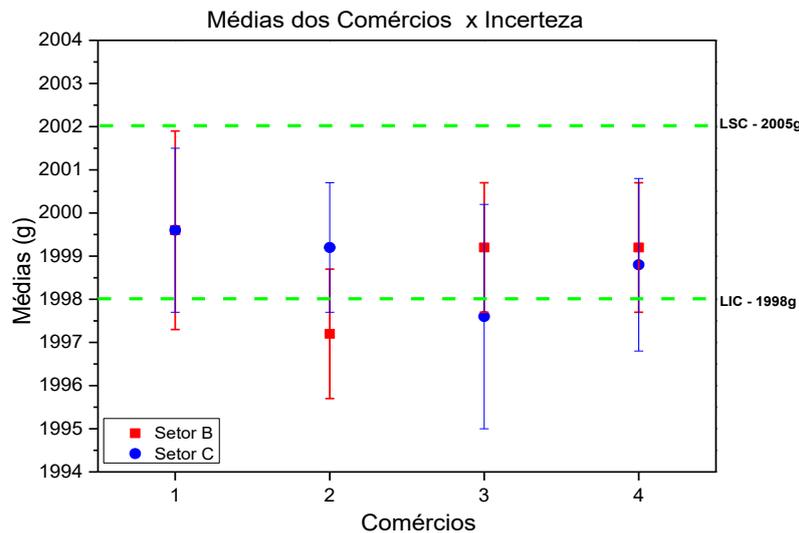
O gráfico 1 mostra que existem valores abaixo do limite inferior para as medições realizadas com a massa padrão de 2000 g. Dentre ao setores que se destacam podemos citar o setor B, C e D. Os setores B e C, apresentam os maiores afastamentos em relação ao limite inferior de controle. O setor D apresenta, de forma geral, valores mais próximos do valor central (2000 g). O gráfico 2, mostra os valores obtidos para os setores B e C com a sua incerteza de medição, representada através de uma barra de erro. No estabelecimento comercial 3 do setor C, identificamos o maior valor de incerteza, representado por $1997,6 \pm 2,6$ g. Observando o conjunto de valores obtidos durante a realização do ensaio para este setor, é bastante perceptível o impacto da fonte de incerteza, repetibilidade, que está diretamente ligada a variação das medidas e, conseqüentemente, ao desvio padrão.

Gráfico 1 - Média dos Comércios por Setor (2000 g)



Fonte: O Autor, 2019.

Gráfico 2 - Média dos Comércios x Incerteza (2000 g)

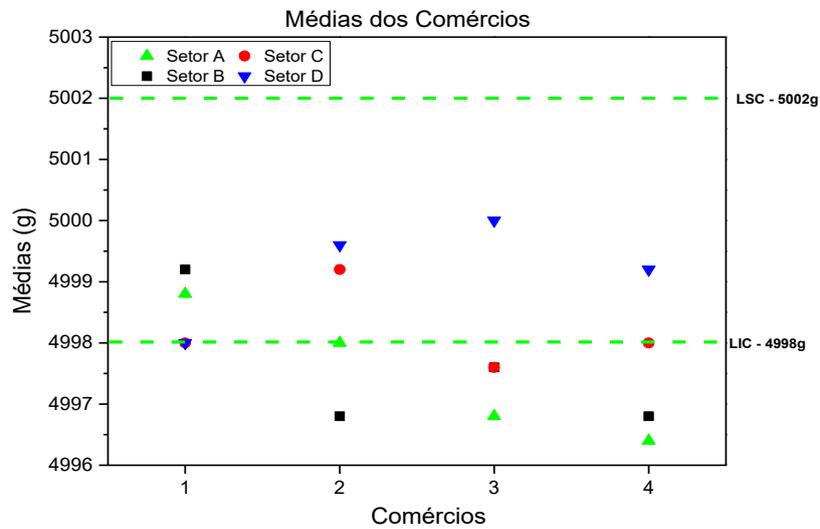


Fonte: O Autor, 2019.

Os gráficos 3 e 4 apresentam o comportamento das medições realizadas para a massa padrão de 5000 g. O gráfico 3 mostra que os setores A, B e C apresentam desvios abaixo do limite inferior de controle. O maior desvio é visualizado para o comércio 4 do setor A, onde a média atinge valores de 4996,4 com desvio de 1,67. Mais uma vez as medições do setor D encontram-se dentro dos limites estabelecidos

e também é onde as medições apresentam valores mais próximos do valor central (5000 g).

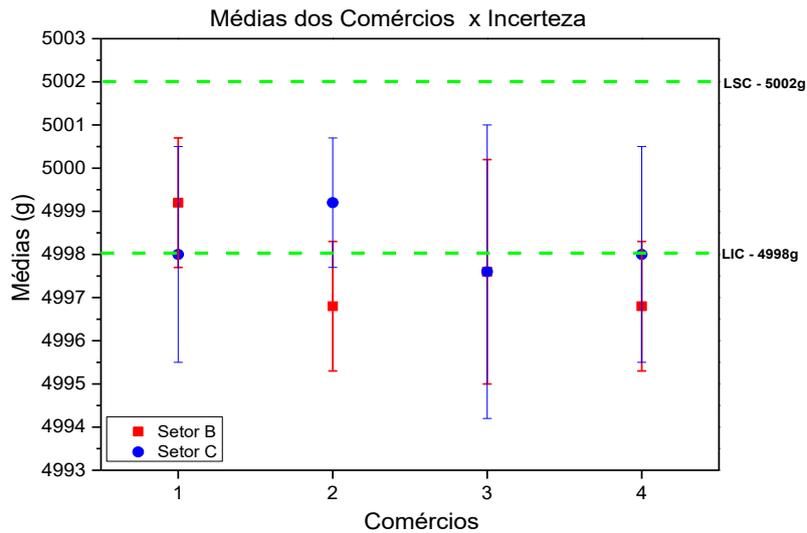
Gráfico 3 - Média dos Comércios por Setor (5000 g)



Fonte: O Autor, 2019.

O gráfico 4 apresenta os valores das incertezas expandidas para as medições realizadas nos comércios dos setores B e C. Neste gráfico se observa que o comércio 3 tanto para o setor B, como para o setor C apresenta os maiores valores de incerteza. Para o setor B no comércio 3 a incerteza expandida atinge $4997,6 \pm 2,6$ g e para o setor C o valor de $4997,6 \pm 3,4$ g.

Gráfico 4 - Média dos Comércio x Incerteza (5000 g)

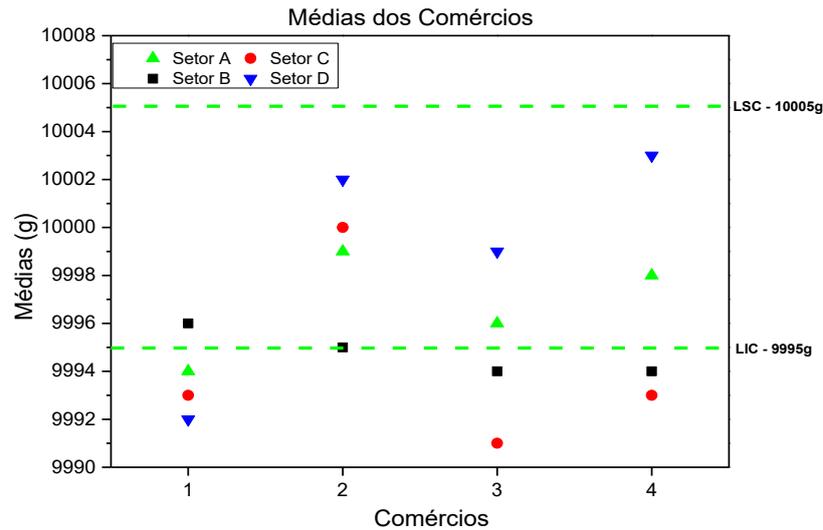


Fonte: O Autor, 2019.

Apesar da considerável repetibilidade detectada na série de observações do setor C, comércio 3 (4996; 4996; 4996; 4996 e 5004), esses valores apresentam um afastamento considerável em torno do valor central. Esse desvio pode ser mais bem detalhado como sendo de duas vezes o Erro Máximo Admissível (ema) para a faixa de ensaio em consideração, levando a reprovação do instrumento (balança), conforme consta na norma Nie – Dimel 084. O valor alto da incerteza pode ser justificado pelo alto valor do desvio padrão com impacto direto na fonte de incerteza repetibilidade.

Os gráficos 5 e 6 apresentam o comportamento das medições realizadas para a massa padrão de 10000 g. Para essa condição os valores apresentaram baixa repetibilidade, fato que pode ser identificado pelos elevados valores de desvio padrão observados. O gráfico 5 mostra que todos os setores analisados com o uso da massa padrão de 10000 g apresentam valores fora dos limites estabelecidos. Neste caso, é possível que a alteração da faixa de medição e resolução tenha impacto nos valores medidos, levando os mesmos a atingirem elevado desvio em relação ao valor central.

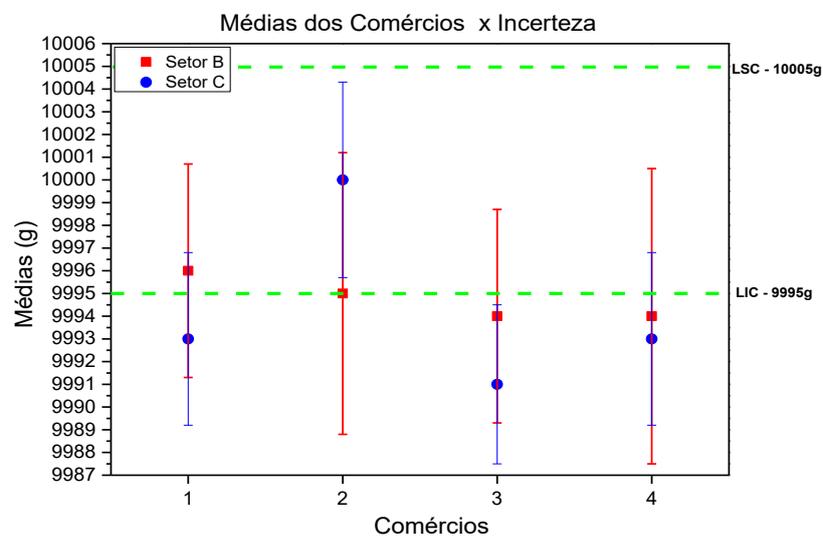
Gráfico 5 - Média dos Comércios por Setor (10000 g)



Fonte: O Autor, 2019.

O gráfico 6 mostra através da barra de erro, a incerteza expandida para os setores B e C que apresentaram a maior quantidade de valores fora dos limites. O comércio 4 do setor B e comércio 3 do setor C são os que apresentam maiores incertezas. O comércio 4 do setor B apresenta incerteza de $9994 \pm 6,5$ g e o comércio 3 do setor C apresenta incerteza de $9991 \pm 3,5$ g.

Gráfico 6 - Média dos Comércios x Incerteza (10000 g)



Fonte: O Autor, 2019.

Conduzindo uma investigação mais detalhada do que poderia estar acontecendo nesse processo de medição, podemos destacar os seguintes fatores:

- **Blocos-padrão:** foi descartado problemas nas massas padrão em função de todos estarem com o certificado de calibração dentro do prazo de validade.
- **Condições ambientais:** Neste trabalho essa fonte de incerteza foi descartada em função de a temperatura e a umidade estarem dentro dos padrões definidos pela técnico e dessa forma as medições foram coletadas de maneira segura;
- **Operador:** Para balancear o impacto dessa fonte de incerteza, pode-se afirmar que a metodologia descrita foi seguida à risca, desde os critérios administrativos até os testes metrológico, onde são feitas todas as medições propriamente ditas (item 3.4.2.2 deste trabalho).
- **Correção do Instrumento de Medição:** Certamente, esse é o ponto chave, que pode responder muitos dos nossos questionamentos quanto ao elevado número de medidas sem repetibilidade. Algumas das balanças objeto do experimento já estavam há algum tempo sem passar por manutenção ou calibração. O ideal seria que fosse realizada a calibração do instrumento uma vez por ano por uma entidade competente e apropriada com acreditação pelo INMETRO, ou seja, que tivesse vínculo ao órgão. Porém, na prática isso não acontece principalmente devido ao custo elevado da calibração, a logística envolvida e o período de espera para a finalização da atividade. Mas, quando o Fiscal Metrológico se dirige até determinado estabelecimento para proceder a fiscalização e reprova o instrumento, automaticamente o proprietário terá uma prazo para corrigir o instrumento e, caso ele descumpra, o mesmo será autuado com aplicação de multa.

4.2 INCERTEZA FINAL POR SETOR

Na realização do cálculo da incerteza de medição das balanças são levadas em consideração as fontes de incerteza listadas na seção 3.5. Todos as fontes de incerteza são inseridas no software GUM Worbench. A fonte de incerteza relacionada ao operador é feita através de um cálculo a parte. A tabela 7 mostra o resultado para os cálculos da incerteza do operador. O valor de S_o^2 tem unidade em gramas e é o valor final da incerteza relacionada ao operador. Como se observa o valor final da incerteza relacionada ao operador é de 15,00 g. Este valor gera um impacto muito

grande no resultado final da incerteza de medição. Pelo fato de ainda serem requeridos mais estudos para adequar melhor esse parâmetro ao experimento realizado, a condições mais realistas e também pelo fato de o parâmetro Incerteza associada ao operador, não estar sendo muito explorado por outros autores com o mesmo rigor, vamos a partir deste momento descartar esse parâmetro da expressão do resultado da incerteza.

Tabela 8 - Incerteza final relativa ao Operador

	SETOR A	SETOR B	SETOR C
	2000g	5000g	10000g
S_E^2	0,80	1,20	7,50
S_E^2	4,00	1,20	12,50
S_S^2	2,18	2,67	22,50
S_S^2	1,38	1,47	15,00
S_O^2	15,00		

Fonte: O Autor, 2021.

As tabelas numeradas de 8 a 10, mostram os valores mínimos e máximos, já levando em consideração a Incerteza expandida de medição, para as massas-padrão de 2000, 5000 e 10000 g, respectivamente.

Tabela 9 - Limites mínimo e máximo para a massa padrão de 2000 g

Setor	μ	U	$\mu - U$	$\mu + U$
Setor A	1999,6	1,4	1998,2	2001,0
	2000,0	2,1	1997,9	2002,1
	1998,4	1,4	1997,0	1999,8
	1998,0	2,1	1995,9	2000,1
Setor B	1999,6	2,3	1997,3	2001,9
	1997,2	1,5	1995,7	1998,7
	1999,2	1,5	1997,7	2000,7
	1999,2	1,5	1997,7	2000,7
Setor C	1999,6	1,9	1997,7	2001,5
	1999,2	1,5	1997,7	2000,7
	1997,6	2,6	1995,0	2000,2
	1998,8	2,0	1996,8	2000,8
Setor D	1998,0	1,7	1996,3	1999,7
	1999,6	1,9	1997,7	2001,5
	2000,0	1,2	1998,8	2001,2
	1999,6	1,9	1997,7	2001,5

Fonte: O Autor, 2021.

A tabela 8 acima mostra que o valor mínimo para o resultado final e completo da medição ($y = \mu - U$) para a massa padrão de 2000 g ocorre no Setor c, Comércio 3. Assim como o valor máximo ($y = \mu + U$) ocorre no Setor A, Comércio 2.

Tabela 10 - Limites mínimo e máximo para a massa padrão de 5000 g

Setor	μ	U	$\mu - U$	$\mu + U$
Setor A	4998,8	2,3	4996,5	5001,1
	4998,0	2,8	4995,2	5000,8
	4996,8	1,5	4995,3	4998,3
	4996,4	1,9	4994,5	4998,3
Setor B	4999,2	1,5	4997,7	5000,7
	4996,8	1,5	4995,3	4998,3
	4997,6	2,6	4995,0	5000,2
	4996,8	1,5	4995,3	4998,3
Setor C	4998,0	2,5	4995,5	5000,5
	4992,2	1,5	4990,7	4993,7
	4997,6	3,4	4994,2	5001,0
	4998,0	2,5	4995,5	5000,5
Setor D	4998,0	2,5	4995,5	5000,5
	4999,6	1,4	4998,2	5001,0
	5000,0	1,2	4998,8	5001,2
	4999,2	2,3	4996,9	5001,5

Fonte: O Autor, 2021.

Observando a tabela 9 acima, verifica-se que o valor mínimo e completo da medição ($y = \mu - U$) para a massa padrão de 5000 g acontece no Setor C, Comércio 2. Assim como o valor máximo ($y = \mu + U$) ocorre no Setor D, Comércio 4.

Tabela 11 - Limites mínimo e máximo para a massa padrão de 10000 g

Setor	μ	U	$\mu - U$	$\mu + U$
Setor A	9994	4,7	9989,3	9998,7
	9999	4,7	9994,3	10003,7
	9996	7,9	9988,1	10003,9
	9998	5,9	9992,1	10003,9
Setor B	9996	4,7	9991,3	10000,7
	9995	6,2	9988,8	10001,2
	9994	4,7	9989,3	9998,7
	9994	6,5	9987,5	10000,5
Setor C	9993	3,8	9989,2	9996,8
	10000	4,3	9995,7	10004,3
	9991	3,5	9987,5	9994,5
	9993	3,8	9989,2	9996,8
Setor D	9992	3,8	9988,2	9995,8
	10002	3,8	9998,2	10005,8
	9999	3,5	9995,5	10002,5
	10003	5,9	9997,1	10008,9

Fonte: O Autor, 2021.

Analisando a tabela 10 acima nota-se que o valor mínimo e completo da medição ($y = \mu - U$) ocorre no Setor B, Comércio 4. Assim como o valor máximo e completo da medição ($y = \mu + U$) acontece no Setor D, Comércio 4.

5 CONCLUSÕES

Fazendo-se um balanço geral, podemos destacar os Setores D e C como sendo o melhor e o pior, respectivamente. Para o Setor D, Estabelecimento Comercial 2 e 3, os resultados apresentados estão de acordo com o que exige a norma metrológica. O comércio 3 retorna indicações praticamente perfeitas com desvios nulos para as massas-padrão de 2000 e 5000 g. Apesar de um valor de desvio padrão de 8,22 para o Comércio 3 do Setor A, sendo o maior valor observado no ensaio, é no Estabelecimento Comercial 3 do Setor C que encontramos o pior resultado, visto que as três faixas de medições estariam reprovadas e não encontramos um valor tão alto para o desvio padrão, devido a considerável repetibilidade do ensaio.

Atentando-se agora aos gráficos 1, 3 e 5, observa-se que à medida que mudamos a faixa de ensaio e, conseqüentemente, aumentamos os valores das massas-padrão, iniciando em 2000 g e finalizando em 10000 g respectivamente, a quantidade de pontos que encontram-se abaixo do limite inferior de controle aumentam. Isso pode ser justificado da seguinte forma: existem balanças encontradas nos comércios, nas quais recebem o nome de balanças “viciadas”, ou seja, para determinada faixa de pesagem ela retorna indicações corretas e para outras ela começa a apresentar erros. Por exemplo, em um comércio de pequeno porte um consumidor dificilmente irá pedir mais do que 3000 g de determinado produto e aí que a balança se acostuma a trabalhar só nessa faixa. Em um caso raro, digamos que alguém peça 10000 g de determinado produto e provavelmente para essa outra faixa a balança estará trabalhando de forma errada. Isso deve-se ao tempo que esse instrumento não tenha passado por Calibração/Manutenção.

Logo, é extremamente importante que esses instrumentos passem por calibrações/manutenções periódicas para que seja sempre estabelecida uma relação de consumo justa e saudável entre consumidor e proprietário.

Porém, a Metrologia Legal tem um papel fundamental nesse processo de verificação/fiscalização, em especial no que se refere à defesa do consumidor. E se não fosse o excelente trabalho desenvolvido pelo INMETRO e seus Órgãos Delegados (IPEM's) ao longo de toda a Rede Metrológica atuando no território brasileiro, dificilmente nós enquanto consumidores não teríamos a garantia e segurança nestas relações de consumos e certamente seríamos lesados diante da

má índole de certas pessoas, principalmente se tratando de um País como nosso onde o nível de corrupção ainda é muito grande.

REFERÊNCIAS

ACCMETROLOGIA.COM. **Incerteza de medição, a única certeza do resultado de medição.** Disponível em: <https://accmetrologia.com.br/incerteza-de-medicao-a-unica-certeza-do-resultado-de-uma-medicao/>. Acessado em 09 de Ago. de 2021.

ALMEIDA, G. de; CRUZ, A.; FELIPE, E.; PELLERINO, O.; VALADARES, J. Medições e incertezas de medição: um contributo baseado nas convenções e resoluções internacionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Santa Catarina, v.26, n.1, p. 125-135, 2009. Disponível em: <https://Dialnet-MedicoesEIncerezasDeMedicao-5165694.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2019.

ARENCIBIA, R. V.; RIBEIRO, J. R. dos S. Incerteza na medição da largura de cordões de solda. **Soldagem Insp.**, São Paulo, SP, v.14, n.3, p. 263-269, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/si/v14n3/v14n3a10.pdf>. Acesso em: 21 de Fev. de 2019.

BAPTISTA, A. M.; PASCOAL, A.; RIBEIRO, A. S.; SIMÕES, R.; SPHOR, I. **GUIA Determinação da melhor incerteza de medição associada à calibração de balanças manométricas industriais.** 16 ed. Lisboa: Relacre, 2000.

BERNARDES, A. T.; CARDOZO, C. A.; SANTOS, L.A.S.; SANTOS, M.C.H. **A metrologia e a avaliação da conformidade no ensino de engenharia:** uma proposta do INMETRO. Apresentado no Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Fortaleza/CE, 2010. Disponível em: http://repositorios.inmetro.gov.br/bitstream/10926/670/1/2010_BernardesSantosCardoso.pdf.pdf. Acesso em: 19 fev. 2019.

BERNARDES, A.; Costa-Félix, R. P. B. **Metrologia:** fundamentos. Rio de Janeiro: Brasport, 2017. v. 1.

BORGES, W. F. A.; BRITO, S. H. R.; ROCHA, S. H. A. **A influência da metrologia nas ciências exatas, com foco no curso de Engenharia mecânica.** In: XXIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica. Teresina/PI, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Wenio_Borges/publication/328841986_A_influencia_da_metrologia_nas_ciencias_exatas_com_foco_no_curso_de_engenharia_mecanica/links/5be5fc8592851c6b27b39ff2/A-influencia-da-metrologia-nas-ciencias-exatas-com-foco-no-curso-de-engenharia-mecanica.pdf. Acesso em: 19 fev. 2019.

BRASIL. **Lei n. 5.966, de 11 de dezembro de 1973.** Lei de criação do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), que passou coordenar todas as ações nacionais no campo da metrologia, da normalização e da certificação da qualidade de produtos industriais. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5966.htm. Acesso em: 20 de Maio de 2019.

BRASIL. **Lei n. 9.933, de 1999.** Dispõe sobre as competências do Conmetro e do Inmetro. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9933.htm

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9933.htm. Acesso em: 20 de Maio de 2019.

BRASIL. **Lei n. 12.545, de 2011**. Altera a Lei nº 9933, de 1999. Entre outras determinações, modifica o nome do Inmetro para Instituto nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12545.htm. Acesso em: 20 de Maio de 2019.

BRASIL. **Lei n. 12.249, de 2010**. Institui a taxa em vigor de serviços metrológicos cobrados pelo Inmetro e pelos órgãos da RBMLQ-I. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12249.htm. Acesso em: 20 de Maio de 2019.

CABRAL. P. **Erros e incertezas nas medições**. 2004.

CAMPOS, R.; SILVA, E. A. **A importância da metrologia na gestão empresarial e na competitividade do País**. São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Renato_Campos/publication/238109042_A_IMPORTANCIA_DA_METROLOGIA_NA_GESTAO_EMPRESARIAL_E_NA_COMPETITIVIDADE_DO_PAIS/links/546f65ee0cf24af340c08a1d/A-IMPORTANCIA-DA-METROLOGIA-NA-GESTAO-EMPRESARIAL-E-NA-COMPETITIVIDADE-DO-PAIS.pdf. Acesso em: 19 fev. 2019.

CARMONA, R. L. R.; PEREIRA, M. **Fontes de incerteza em medições de massa**. In: ENQUALAB 2006 – Congresso e Feira da Qualidade em Metrologia. São Paulo, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235947530_Fontes_de_Incerteza_em_Medicoes_de_Massa. Acesso em: 21 de Fev. de 2019.

CARVALHO, L. A. A.; FROTA, M. H. A.; FROTA, M. N.; OHAYON, P. **Metrologia: a ciência da medição sob o olhar da cidadania**. Belo Horizonte, 2003. Disponível em: http://repositorios.inmetro.gov.br/bitstream/10926/1086/1/2003_CarvalhoFrota.pdf. Acesso em: 19 de Fev. de 2019.

DONATELLI, G. D.; KONRATH, A. C. Simulação de Monte Carlo na avaliação de incertezas de medição. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Florianópolis, v. 13, n. 25/26, p. 5-15, 2005. Disponível em: <http://www.repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/3200/Simula%C3%A7%C3%A3o%20de%20monte%20carlo%20na%20avalia%C3%A7%C3%A3o%20de%20incertezas%20de%20medi%C3%A7%C3%A3o.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 fev. 2019.

GOMES, A.; CARDOZO, M.; RAMOS, S. **Analógica versus digital** – utilização de equipamentos analógicos e digitais de medição. Voltimum.pt. Porto, 2009. Disponível em: <https://www.voltimum.pt/artigos/noticias-do-sector/analogica-versus>. Acesso em: 09 ago. 2021.

GONÇALVES JUNIOR, A. A.; SOUSA, A. R. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. 1. Ed. Santa Catarina: Manole, 2008.

GUIMARÃES, R. L. L. **A metrologia legal e a ISO/IEC 17025**: reconhecimento de competência no controle Metrológico Legal, 2008.

Incerteza da medição de uma joia por uma balança digital. Disponível em: <http://www.metrologia.ufpr.br/pdfs/MetroNot/2017-1.-.9.M&I.-.Aula.9.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2019.

INMETRO. **Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/fiscalizacao/rbmlq.asp>. Acesso em: 19 out. 2021.

INSTITUTO DE PESOS E MEDIDAS DE PERNAMBUCO. **Verificação em balanças**. Recife: IPEM, 2017. Disponível em: <http://www.ipem.pe.gov.br/servicoprestado/#41>. Acesso em: 25 nov. 2017.

JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. **Avaliação de dados de medição** – Guia para a expressão da incerteza de medição. JCGM 101:2008.

JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. **Vocabulário Internacional de Metrologia**. JCGM, 2012.

JUNIOR, P. L.; SILVEIRA F. L. Sobre as incertezas do tipo A e B e sua propagação sem derivadas: uma contribuição para a incorporação da metrologia contemporânea aos laboratórios de física básica superior. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2011, São Paulo.

JUNIOR, P. L. et al. **Laboratório de Mecânica**: subsídios para o ensino de física experimental. Porto Alegre, 2012.

LIRA, F. A. **Metrologia na Indústria**. 6. ed. São Paulo: Érica, 2007.

NORMA NIE-DIMEL 084/2015. Verificação e Inspeção de Instrumentos de Pesagens Não Automáticos Classes III e IV com carga máxima até 1000kg.

PORTAL ACTION. **Incerteza de medição**. 2017. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/incerteza-de-medicao/12-incerteza-de-medicao>. Acesso em: 12 nov. 2017.

RODRIGUES FILHO, B. A. R.; SORATTO, A. N. **Metrologia legal no Brasil e consolidação da RBMLQ-I como modelo para o controle metrológico legal**. In: 7° Brazilian Congress on Metrology. Ouro Preto/MG, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Bruno_Rodrigues_Filho/publication/286456848_Metrologia_legal_no_Brasil_e_consolidacao_da_RBMLQ-I_como_modelo_para_o_controle_metrologico_legal/links/566ea40208aea0892c52a048/Metrologia-legal-no-Brasil-e-consolidacao-da-RBMLQ-I-como-modelo-para-o-controle-metrologico-legal.pdf. Acesso em: 19 fev. 2019.

SILVA, M. D. **Um modelo para análise e tratamento de dados de demanda de energia elétrica**. 2011. Dissertação (Monografia) – Universidade Federal de Alfenas, junho 2011.

SLIDESER.COM. **Erro de Medição**. 30 de Nov. de 2014. Disponível em: <https://www.slideserve.com/wynne-keller/erro-de-medi-o>. Acesso em 09 de Ago. de 2021.

THEISEN, A. M. F. **Fundamentos da Metrologia Industrial**. Porto Alegre, 1997.

UPXSOLUTION.COM. **WIND C – PRETA**. Disponível em: http://www.upxsolution.com.br/?root=produtos&file=produto&id=16&nome=wind_c_-_preta. Acesso em: 09 ago. 2021.