

**FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS**  
**Programa de Pesquisa, Produção e Divulgação Científica**

**LORENA FERNANDA SILVA FRAGOSO**  
**NATHIELLE GOMES FERREIRA**  
**WELLINGTON CORSINO DA SILVA**

**ENGENHARIA DA QUALIDADE NA AVALIAÇÃO DE MÉTODO PARA  
PERIODICIDADE DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS**

**BELO HORIZONTE - MG**  
**JULHO/2018**

LORENA FERNANDA SILVA FRAGOSO  
NATHIELLE GOMES FERREIRA  
WELLINGTON CORSINO DA SILVA

**ENGENHARIA DA QUALIDADE NA AVALIAÇÃO DE MÉTODO PARA  
PERIODICIDADE DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais (FEAMIG) como requisito para obtenção de título de bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Engenharia da Qualidade

Orientador de conteúdo: Prof. Ms. Wilson José Vieira da Costa

Professor de metodologia: Profa. Ms. Gabriela Fonseca Parreira

BELO HORIZONTE – MG  
JULHO/2018

**Unidade Floresta**

Rua Aquiles Lobo, 524 • Bairro Floresta • CEP 30150-160 • Belo Horizonte • MG  
Telefax (31) 3274-1974 • [www.feamig.br](http://www.feamig.br) • E-mail: [feamig@feamig.br](mailto:feamig@feamig.br)

**Unidade Gameleira**

Rua Gastão Bráulio dos Santos, 837 • Bairro Gameleira • CEP 30510-120 • Belo Horizonte • MG  
Telefax (31) 3372-3703 • [www.feamig.br](http://www.feamig.br) • E-mail: [feamig@feamig.br](mailto:feamig@feamig.br)



Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **ENGENHARIA DA QUALIDADE NA AVALIAÇÃO DE MÉTODO PARA PERIODICIDADE DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS**, de autoria do(s) aluno(s) **Lorena Fernanda Silva Fragoso, Nathielle Gomes Ferreira e Wellington Corsino da Silva**, aprovado(s) pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Ms. Wilson José Vieira da Silva  
Orientador

Prof. Ms. Gabriela Fonseca Parreira  
Membro da Banca

Prof. Ms. Raquel Ferreira de Souza  
Membro da Banca

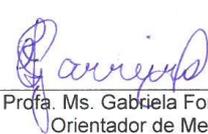
Belo Horizonte, 02 de Julho de 2018.

A Revista Paramétrica recebeu, na plataforma OJS de editoração científica, o artigo científico intitulado “**ENGENHARIA DA QUALIDADE NA AVALIAÇÃO DE MÉTODO PARA PERIODICIDADE DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS: estudo de caso**” de autoria de **Nathielle Gomes Ferreira, Wellington Corsino da Silva, Lorena Fernanda Silva Fragoso, Wilson José Vieira da Costa, Gabriela Fonseca Parreira** que entrará no processo de avaliação no sistema de revisão cega (*double blind review*), feita por avaliadores *ad hoc*, cuja possibilidade de publicação demandará, além da adequação do artigo às diretrizes da revista, também na responsabilidade dos autores, de correção de todas as revisões sugeridas pelos avaliadores.

A posse deste termo poderá ser utilizada para atribuição de nota e isenção da banca examinadora na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II), conforme previsto na Portaria CGC nº 05, de fevereiro de 2018.

Belo Horizonte, 05 de junho de 2018

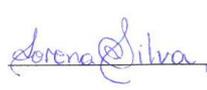
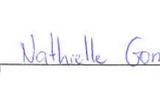
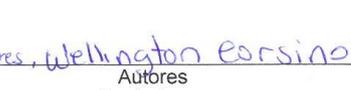
  
Prof. Ms. Wilson José Vieira da Costa  
Orientador de Conteúdo  
Assinatura

  
Profa. Ms. Gabriela Fonseca Parreira  
Orientador de Metodologia  
Assinatura

  
Prof. Ms. Wilson José Vieira da Costa  
Editor  
Assinatura

  
Profa. Ms. Raquel Ferreira de Souza  
Editor de Texto  
Assinatura

Os autores atestam a concordância dos orientadores de conteúdo e de metodologia de que o artigo é original e contribui para o avanço do conhecimento nas áreas de Engenharias, Arquitetura, Administração e Tecnologias, estando em condições de serem avaliados para publicação nos próximos volumes da Revista.

  
  
  
Lorena Fernanda Silva Fragoso, Nathielle Gomes Ferreira, Wellington Corsino da Silva  
Autores  
Assinaturas

## RESUMO

Na engenharia da qualidade, a metrologia tem o papel principal de prover credibilidade, exatidão e qualidade às medidas, e uma das ferramentas da metrologia utilizada para garantia desse papel principal é a calibração. A calibração de instrumentos de medição é uma atividade relevante no processo de fabricação, pois é indispensável para assegurar uma boa qualidade do produto, evitando seu retrabalho ou refugo. Os instrumentos estão sujeitos a influências externas, como fator humano e condições ambientais, que impactam na medição, além de possuírem sua própria deriva natural ao longo do tempo. Dessa forma, faz-se necessário estabelecer a melhor periodicidade de calibração para manter a confiabilidade do processo de fabricação. O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para avaliação da periodicidade de calibração dos instrumentos, sob aplicação de algum modelo. Para isso foi realizado o mapeamento do processo de avaliação de periodicidade e uma análise dos resultados de calibração dos instrumentos em estudo. A empresa escolhida é de grande porte, voltada para o ramo de eletroeletrônica e energia, atuando como fornecedor de transformadores. A escolha da empresa a ser estudada, foi decorrente das possibilidades de melhorias no sistema de metrologia e, conseqüentemente, resultando em maior precisão e redução de desperdícios. Foi escolhido trabalhar com o estudo de caso, já que possibilita uma visão profunda sobre o tema abordado. Os principais resultados permitem concluir que, a aplicação dos métodos definidos nas literaturas, preocupam-se apenas com o status da calibração (atributo). Por isso, houve a necessidade de proposição de um método que além da avaliação do histórico de calibração e o status, também considere a análise do resultado de erros totais dos pontos calibrados, dentro da faixa de tolerância do instrumento.

**Palavras-chave:** Qualidade, Metrologia, Calibração, Periodicidade.

## ABSTRACT

The Metrology on the Quality Engineering has the main objective of proof confidence, accuracy and quality to the measurement and one of its tools to assure this target is the calibration. The calibration of the measurement equipment is an important activity in the manufacturing process once it is essential to assure the product quality and consequently avoiding reworks or scraps. The equipment are subject to external influences as the operator factor, environmental conditions and their own natural drift over time. In this way it is necessary to stablish the best calibration interval to keep the manufacturing process reliable. The objective of this work is to propose a methodology to evaluate the equipment calibration interval under the application of an adjustment method. To do that it was performed a mapping of the procedures to evaluate the interval and an assessment of the calibration results for the instruments under analysis. The chosen company is a large factory of the electrical field that manufactures electrical transformers. This company under study was selected based on the potential improvement on its metrology system and, consequently, resulting in a better precision and waste reduction. It was chosen the case study once this method allows a deep view of the assessed theme. The main results permit to conclude that the application of the methods stablished in the literatures care only about the calibration statuses (attribute). However, there was identified the need to propose a method that beyond the assessment of the calibration history and status consider also the analysis of the total errors found for the calibrated points within the equipment tolerance range.

**Palavras-chave:** Quality. Metrology. Calibration. Periodicity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hierarquia do Sistema Metrológico .....	25
Figura 2 - Fluxograma do processo de determinação da periodicidade de instrumento.....	52

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 e 2 - Erro total por instrumentos da grandeza temperatura .....	53
Gráfico 3 e 4 - Erro total por instrumentos da grandeza dimensional.....	54
Gráfico 5 e 6 - Erro total por instrumentos da grandeza pressão .....	55
Gráfico 7, 8 e 9 - Erro total por instrumentos da grandeza elétrica .....	55
Gráfico 7, 8 e 9 - Erro total por instrumentos da grandeza elétrica (conti,) .....	56

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Código e fator para ajuste do intervalo de calibração para Método A2 ...	34
Quadro 2 - Ações para o estabelecimento do ajuste, conforme Método A3 .....	35
Quadro 3 - Ações para o estabelecimento de ajuste pelo método Schumaker .....	36
Quadro 4 - Ajustes sugeridos pelo método Schumaker .....	37
Quadro 5 - Valores dos multiplicadores X, Y e Z – Método RP – 1 .....	40
Quadro 6 - Definição do universo e amostra da pesquisa.....	46
Quadro 7 - Instrumentos de medição objetos de estudo da pesquisa.....	47
Quadro 8 - Novo período de calibração segundo Método A1 .....	57
Quadro 9 - Novo período de calibração segundo Método A2 .....	58
Quadro 10 - Novo período de calibração segundo Método A3 .....	59
Quadro 11 - Novo período de calibração segundo Método Schumacher .....	60
Quadro 12 - Novo período de calibração segundo Método RP-1 .....	60
Quadro 13 - Novo período de calibração segundo Método Proposto.....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CGCRE	Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
COPANT	Comissão Panamericana de Normalização Técnica
ENEGEP	Encontro Nacional de Engenharia de Produção
EQOC	<i>European Organization for Quality Control</i>
IAAC	<i>Interamerican Accreditation Cooperation</i>
IAF	<i>International Accreditation Forum</i>
IATC	<i>International Auditor and Training Certification Association</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ILAC	<i>International Laboratory Accreditation Cooperation</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPM	Instituto Nacional de Pesos e Medidas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
NCSL	<i>National Conference of Standards Laboratories</i>
NBR	Norma Brasileira
OIML	Organização Internacional de Metrologia Legal
ONS	Organismos de Normalização Setoriais
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RBLE	Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RP – 1	Recommended Practice 1
SI	Sistema internacional de medidas
SINMETRO	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Contexto do problema.....	13
1.2 Problema de pesquisa .....	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo geral .....	15
1.3.2 Objetivos específicos .....	15
1.4 Justificativa .....	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
2.1 Engenharia da Qualidade e a Metrologia.....	18
2.2 Sistema de Medição .....	21
2.3 Processo de Calibração e Normas .....	22
2.4 Variabilidade e interferências na calibração .....	29
2.5 Periodicidade e métodos para ajustar periodicidade de calibração .....	31
2.5.1 Método A1 .....	33
2.5.2 Método A2.....	33
2.5.3 Método A3.....	34
2.5.4 Método Schumacher .....	35
2.5.5 Método – Carta de Controle .....	37
2.5.6 Método - Uso do Tempo.....	38
2.5.7 Método - Verificação Periódica do Uso .....	38
2.5.8 Método 5 - Abordagens Estatísticas.....	39
2.5.9 Método 6 – Método RP-1 .....	39
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>41</b>
3.1 Pesquisa quanto aos fins.....	41
3.2 Pesquisa quanto aos meios.....	42
3.3 Organização em estudo.....	44
3.4 Universo e amostra.....	45
3.5 Formas de coleta e análise dos dados .....	46
3.6 Limitação da Pesquisa.....	49
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
4.1 Mapeamento do processo de avaliação de periodicidade de calibração de instrumentos .....	50

4.2 Identificação do histórico de calibração dos instrumentos em estudo .....	53
4.3 Proposição de metodologia para avaliação da periodicidade de calibração dos instrumentos .....	57
<b>5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia da qualidade é um conjunto de atividades operacionais de gerenciamento e engenharia usados nas organizações para garantir que as características da qualidade de um produto ou serviço estejam na especificação exigida e surge no contexto em as organizações visam otimizar seus resultados, e por isso utiliza ferramentas da área já que irão permitir a análise quantitativa da qualidade e produtividade dos produtos ou serviços. A verdade é que ninguém quer um produto ou um serviço sem qualidade, seja ele simples ou complexo, barato ou caro, o cliente exigirá que os componentes e propriedades sejam de qualidade. Neste ponto, a engenharia da qualidade busca o equilíbrio para viabilizar o processo de produção do bem ou serviço e também atender o desejo do cliente.

Logo, a necessidade de garantir a qualidade do produto deixou de ser um diferencial competitivo, passando a ser estratégia de sustentação da empresa no mercado, pois ao disponibilizar um produto cujo desempenho atenda as expectativas do cliente, pode contribuir com os fatores que contribuem para o aumento da lucratividade da empresa tais como: maior satisfação do cliente e também para sua fidelização, permanência no mercado e outros.

Entre os vários métodos e ferramentas contribuintes para a qualidade do produto, existe o sistema de metrologia. Metrologia é a ciência da medição e importante aplicação nos campos da pesquisa, tecnologia e desenvolvimento dos produtos, na inspeção da matéria prima, componentes isoladamente produzidos, produto acabado ou no controle das variações do processo e dos meios de medição, que implicam na qualidade do produto. Portanto, a metrologia pode ser uma das ferramentas que permita correlacionar as grandezas funcionais do produto com as especificações já pré-estabelecidas pelo cliente ou pela engenharia.

Logo, percebe-se que a calibração de instrumentos de medição é uma função importante para os processos nas organizações, o que faz com que o sistema metrológico associado à garantia do produto e ao avanço tecnológico seja constantemente aprimorado nas mais diversas indústrias, buscando sempre a

confiabilidade do seu sistema de medição e a redução da variabilidade das operações continuamente.

Por isso, é válido lembrar que vários fatores podem influenciar na variabilidade das calibrações, como: fatores humanos, condições ambientais, equipamentos, manuseio de objetos e rastreabilidade de medição. E é neste cenário do sistema metrológico, que a periodicidade de calibração ganha destaque, pois se não determinada adequadamente, surgirão erros e incertezas nas medições, aumentará o custo gasto com calibração e pode ter impacto na funcionalidade do produto, deixando de atender as necessidades dos clientes, entre eles qualidade e eficácia.

Há normas da *International Organization for Standardization* (ISO) tais como a 17.025 e a 9.001, que estabelecem como requisito a calibração de instrumentos em intervalos adequados, onde se preze a exatidão e a confiabilidade das medições. Mas o que acontece é que a periodicidade de calibração tem sido estabelecida por métodos informais ou práticos de estimação na maior parte das empresas, talvez até pela ausência da definição de intervalos adequados em tais normas. E quando mal definido o período de calibração, acaba em um uso de instrumentos e equipamentos inadequados que afetam ao processo ou produto, ocasionando a aprovação de produto fora de especificação ou mesmo o seu refugo, desencadeando prejuízo às empresas, aumento dos custos no produto final, além de impactar diretamente na qualidade do produto e a diminuição da confiabilidade do cliente final.

Neste trabalho será abordado o histórico de calibração de instrumentos de uma empresa, com o objetivo de apresentar um possível método para estabelecer a periodicidade de calibração de instrumentos. Presume-se que o método a ser proposto contribuirá para uma maior confiabilidade dos equipamentos calibrados.

## **1.1 Contexto do problema**

Os instrumentos de medição têm papel principal de verificar e avaliar os processos de produção e gerenciar a qualidade final dos produtos, a fim de atingir resultados consistentes. E uma das maneiras de assegurar esse papel é determinando corretamente à frequência de calibração, que conseqüentemente traz benefícios:

como qualidade ampliada e produção mais uniforme, baixo custo operacional devido à confiabilidade aprimorada e atendimento as especificações de tolerância.

Nesse ponto se mostra viável a criação de um plano de calibração para os instrumentos, de modo a determinar corretamente a periodicidade com que a calibração ocorrerá. Os custos da utilização de instrumentos imprecisos tendem a serem superiores aos dos instrumentos precisos, mesmo quando demandar recursos financeiros e de mão de obra para a realização da calibração. Isto se deve ao fato de que instrumentos imprecisos levam o processo a erros, onde produtos serão retrabalhados ou refugados.

A determinação do período de calibração de instrumentos de medição é adequada conforme as necessidades da empresa, portanto variável. Algumas seguem as orientações do fabricante. Outras optam pela classe a qual o equipamento pertence e, há ainda as empresas que avaliam sob o grau de impacto do instrumento no processo. Essa adoção, porém nem sempre garante a empresa que a periodicidade esteja adequada, podendo incorrer no erro de um intervalo de tempo muito extenso ao invés de um período menor, enquanto ao contrário também é verdadeiro. O que faz com que muitos dos problemas na medição só sejam corrigidos à medida que são detectados, calibrando o instrumento ou equipamento na ocorrência de erro em que os resultados saem da faixa de tolerância, e a partir daí adota-se o mesmo intervalo de calibração.

Portanto, com base no modelo adotado na empresa em estudo e nas outras formas de determinar a periodicidade de calibração dos instrumentos de medição, foi notado que o processo não é seguro, que as medidas obtidas podem oferecer riscos de retrabalho ou refugo do produto por não atribuir valor requerido caso o intervalo entre as calibrações seja maior do que deveria, ou mesmo pode representar alto custo na realização de calibrações que poderiam adotar intervalo maiores do que o estipulado.

O ajuste dos intervalos de calibração e sua revisão se fazem necessários depois que a calibração em uma rotina foi estabelecida, para aperfeiçoar o equilíbrio de riscos e custos, mas principalmente, prover confiabilidade, credibilidade, exatidão e

qualidade às medidas, ou seja, fomentar a produção de itens com qualidade, atuando no processo, condição fundamental para que as empresas sejam cada vez mais competitivas no mercado, atribuindo aos produtos melhor valor agregado.

## **1.2 Problema de pesquisa**

Como alterar a periodicidade de calibração de instrumentos de medição, preservando a confiabilidade e exatidão necessária para o processo de produção de transformadores em uma indústria da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Analisar a periodicidade de calibração dos instrumentos de medição das grandezas elétrica, dimensional, temperatura e pressão, em uma indústria de fabricação de transformadores na RMBH.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- a) Mapear o processo de avaliação de periodicidade de calibração dos instrumentos de medição das grandezas elétrica, dimensional, temperatura e pressão;
- b) Identificar e analisar o histórico de calibração dos instrumentos em estudo;
- c) Propor uma metodologia de avaliação da periodicidade de calibração dos instrumentos da indústria.

## **1.4 Justificativa**

O presente trabalho visa melhorar o processo de confiabilidade metrológica em uma empresa de grande porte, focando na periodicidade de calibração adotada para os instrumentos utilizados durante o processo de fabricação de transformadores de uma empresa multinacional.

O mercado na qual a empresa está inserida, vem exigindo cada vez mais tanto da organização quanto do processo e das pessoas, maior qualificação e qualidade no produto, para a continuidade em seu desenvolvimento e sobrevivência no mercado. Como parte dessa garantia, há um robusto sistema metrológico de equipamentos e instrumentos do processo de montagem de seus produtos.

Sem a confirmação metrológica, não há como garantir a confiabilidade dos dados referentes ao controle das características que determinam a qualidade do produto e tão pouco às ações de monitoramento de processo. Além disso, quando sua existência se faz de dados e caminhos equivocados, traz ônus ao processo, ao produto e até mesmo a queda da confiabilidade do produto mercado, impactando a reputação da empresa.

Nesse viés a área de produção e qualidade, junto com a metrologia, deve atentar-se em garantir que os instrumentos de medição ou monitoramento estejam dentro da exatidão requerida, permitindo que o processo minimize os riscos, atribuir qualidade ao produto, associando o menor impacto possível nos custos associados ao produto final, desafio de qualquer engenheiro de produção.

O controle do período de calibração apresenta benefícios para a empresa em estudo, pois tende a atribuir aos resultados das medições com um menor erro contribuindo assim para obter produtos de qualidade, diminuição das manutenções nos instrumentos, aumento da disponibilidade do instrumento na fábrica, entre outros. Também é possível maior acerto na provisão de gastos quanto às calibrações, mesmo sobre as que acontecem internamente, já que a periodicidade de calibração pode ser ampliada ou reduzida em função da análise, minimizando os riscos de intervenção antes da próxima calibração.

Por ser um produto bem específico, os clientes finais, normalmente, são empresas privadas e estatais do ramo de energia elétrica, que são beneficiados com um produto de melhor qualidade com todas as suas características do produto dentro da especificação técnica requerida, e principalmente diminuição gastos com

manutenção ou parada de sua subestação. O que por sua vez, contribui para o fornecimento de energia contínuo e de melhor qualidade para a sociedade.

Além disso, a subárea de metrologia é um das áreas com menor número de estudo desenvolvidas nos trabalhos acadêmicos, prova disso é que dos 1.301 artigos publicados no Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) ano de 2017, apenas um artigo está relacionado a esta subárea (ENEGEP, 2017). Portanto, crê-se que este trabalho acrescentará com uma área de conhecimento menos demandada em termos de produção, contribuindo assim como o saber do engenheiro de produção.

Outra colaboração se dá pelo motivo de que mesmo a qualidade apresentando seu maior crescimento na década de 90, ainda é uma área central em todas as organizações, que inclusive demanda alguns requisitos legais e normatizações tais como a ISO, que atribuem certas especificações, que irão definir se uma organização pode ou não colocar um produto no mercado. Caso não atenda a essas especificações obviamente, o produto não será encaminhado para o mercado. Essa necessidade, de certa forma, corrobora mais uma vez para que a área de metrologia seja uma área referenciada cada vez mais na pesquisa e produção científica e na formação de engenheiro de produção.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Engenharia da Qualidade e a Metrologia

Qualidade é um termo de uso comum e significado subjetivo, por isso não podendo ser delimitado e preciso e não contrariando a noção intuitiva que se tem sobre ela. U Quanto ao seu conceito, Paladini (2012) descreve que “A qualidade envolve muitos aspectos simultaneamente, ou seja, uma multiplicidade de itens. [...]. A qualidade sofre alterações conceituais ao longo do tempo, isto é trata-se de um processo evolutivo.” Campos (2004) acrescenta: “[...] um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente.”

E além da qualidade, encontra-se a engenharia da qualidade que integra técnicas e métodos aplicados à qualidade e à estratégia para melhoria da produtividade. A Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO) (2017) estabelece a engenharia da qualidade como uma das áreas da engenharia da produção e a define como “planejamento, projeto e controle de sistemas de gestão da qualidade que considerem o gerenciamento por processos, a abordagem factual para a tomada de decisão e a utilização de ferramentas da qualidade.”

Nesse sentido, Leite (2016) acresce ser um “conjunto de atividades operacionais de gerenciamento e engenharia que uma empresa usa para garantir que as características da qualidade de um produto ou serviço estejam nos níveis nominais ou exigidos”. E em qualquer das suas definições é possível observar a engenharia da qualidade é que entende a qualidade com a característica inversamente proporcional a variabilidade, ou seja, que trata e trabalha com a melhoria da qualidade como a redução da variabilidade nos processos e produtos.

A engenharia da qualidade dispõe de uma série de ferramentas, que através de dados reais, estatísticos, rastreáveis e coesos; permite compilação de informações precisas capazes de retratar um diagnóstico mais eficaz na prevenção e detecção dos problemas nos processos produtivos ou serviço em análise. Esse aparato auxilia a empresa na tomada de decisão, tende a proporcionar o aumento da produtividade,

minimizar as perdas e desperdícios, reduz refugo e retrabalho, utiliza melhor dos recursos disponíveis, o que por sua vez impacta positivamente os resultados da empresa, possibilitando maior competitividade no mercado, com produto final de qualidade.

Logo, é difícil dissociar qualidade de produtividade, e vice versa, ao longo de um processo produtivo. E nesse contexto surge a metrologia, como uma das ferramentas da engenharia da qualidade que atua como sensor no processo, e acaba sendo utilizada para monitorar e controlar as variáveis e atributos do processo ou até mesmo de produtos.

A metrologia surgiu ainda na antiguidade, quando se buscava uma forma de quantificar e padronizar nos produtos e processos, para atender o mínimo que se esperava em termos de qualidade. Foi necessário padronizar medidas, criando um sistema métrico. Mas ainda não era o suficiente, já que, em cada atividade econômica de cada região adotava-se uma forma de medir diferente, dificultando a uniformização e controle pelas autoridades políticas. Para atender essa demanda, criou-se a metrologia.

Com a modernização, houve uma necessidade de coordenação e a unificação de normas industriais. Em 1946, na cidade de Londres, realizou-se uma reunião com membros de vinte e cinco países, onde decidiram criar um órgão internacional de normalização e certificação, a *ISO*. Nas áreas de Engenharia eletrônica e elétrica a responsabilidade de normalização e certificação é da *International Electrotechnical Commission (IEC)*, ou Comissão Eletrotécnica Internacional, (PORTAL EDUCAÇÃO, 2013).

A metrologia é a ciência da medição e:

abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou da tecnologia. (Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), 2012, p. 23).

No Brasil, a metrologia ganhou consistência com a primeira legislação no formato de lei de metrologia que se promulgou nos anos de 1930. Porém apenas fora

implantada a nível nacional nos anos de 1960, “com a criação do Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM), cujas atividades foram incorporadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e atribuídas à Diretoria de Metrologia Legal”, INMETRO (2012). Em 1973, criou-se o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO), formado por entidades públicas e privadas, que atuam em atividades relacionadas com metrologia, normalização, qualidade industrial e certificação da conformidade. As principais organizações que o compõe é o INMETRO e Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO), sendo o INMETRO o órgão executivo central e o CONMETRO um colegiado interministerial que exerce a função do órgão normativo, INMETRO (2012). O SINMETRO desempenha as funções da metrologia científica e industrial, metrologia legal, normalização e regulamentação técnica, acreditação, certificação e ensaios e calibrações.

A metrologia científica e industrial é o sistema responsável pelas grandezas metroológicas básicas, transferindo para a sociedade padrões de medição com confiabilidade igual à de outros países de primeiro mundo. Já a metrologia legal é o sistema de defesa do consumidor, onde são realizadas fiscalizações e inspeções, além de abranger o sistema de medição usados nas áreas de saúde, segurança e meio ambiente.

Outra função do SINMETRO tange na normalização e regulamentação técnica, que consiste na elaboração de normas para dar suporte à regulamentação técnica, melhorando a qualidade de processos, produtos e serviços. É a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que tem autoridade para acreditar Organismos de Normalização Setoriais (ONS) para o desempenho dessas tarefas.

A acreditação acontece pelo INMETRO, que é o único órgão acreditador do sistema, assessorado pelos Comitês Técnicos do CONMETRO e aplica-se a organismos de certificação, de inspeção, de treinamento, além dos laboratórios de calibração e laboratórios de ensaios, com o objetivo de oferecer aos consumidores, fabricantes e governos uma infraestrutura tecnológica fundamentada em princípios internacionais. A acreditação acontece baseada, principalmente, em normas e guias da ABNT, Comissão Panamericana de Normalização (COPANT), Mercado Comum do Sul

(MERCOSUL) e nas orientações do *International Accreditation Forum* (IAF), *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC), *International Auditor and Training Certification Association* (IATC) e *Interamerican Accreditation Cooperation* (IAAC), todas de considerada de grande confiabilidade.

As certificações são realizadas por entidades públicas, privadas ou mistas, nacionais ou estrangeiras, que conduzem a certificação da conformidade no SINMETRO, nas áreas de produtos, sistemas da qualidade, pessoal e meio ambiente.

Uma das funções do SINMETRO também é a dos ensaios e calibrações que são de responsabilidade dos laboratórios acreditados pelo Inmetro, pertencentes da Rede Brasileira de Calibração (RBC) e Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio (RBLE), utilizados, em sua maioria, para a certificação de produtos (ensaios) e calibração de padrões de trabalho na indústria, além da calibração dos próprios instrumentos industriais.

Atualmente a metrologia vem de encontro à qualidade, como ferramenta que ajuda a obter produtos e processos com garantia, afinal permiti conhecer uma característica de algo que se fala, pois medir e o expressa em números. Araújo (1995) confirma que a metrologia auxilia “o sistema de garantia da qualidade, dando suporte a todas as avaliações da qualidade dos produtos e dos processos, desde as fases de projeto e desenvolvimento, até a fase de rotina de produção.” Essas avaliações ocorrem mediante as medições ao longo do processo, e até nas etapas de inspeção, sendo necessário criar um sistema de medição.

## **2.2 Sistema de Medição**

VIM (2012) define instrumento de medição como “dispositivo utilizado para realizar medições, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares” e sistema de medição é o:

conjunto dum ou mais instrumentos de medição e frequentemente outros dispositivos, compreendendo, se necessário, reagentes e insumos, montado e adaptado para fornecer informações destinadas à obtenção dos valores medidos, dentro de intervalos especificados para grandezas de naturezas especificadas. (VIM, 2012, pg. 34)

Albertazzi; Sousa (2008) defende o instrumento de medição sendo como “preferido para medidores pequenos, portáteis e encapsulados em uma única unidade” e o sistema de medição como uso genérico para “abranger desde medidores simples e compactos até os grandes e complexos”.

Portanto, instrumento de medição é diferente do sistema de medição. Instrumento de medição pode ser considerado como o dispositivo que reproduzi ou fornece durante o uso, de maneira fácil, os valores conhecidos de uma dada grandeza; como por exemplo, o paquímetro, termômetro e micrômetros. Sistema de medição é mais abrangente, ou seja, é um conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos interligados para executar uma medição específica, via de regra fixos e complexos. São exemplos de sistemas de medição: aparelhagem para calibração de termômetros clínicos e máquinas de ensaio de tração.

Esta diferenciação das terminologias se faz necessária, já que o foco do trabalho limita-se a instrumentos de medição. Os instrumentos de calibração devem ser calibrados para que se mantenha a confiabilidade nos resultados de suas medições.

### **2.3 Processo de Calibração e Normas**

Os instrumentos de medição sempre apresentam erros, que podem gerar dúvidas ou até mesmo retrabalhos, porém sempre estarão presentes, seja do próprio instrumento ou grandezas de influência externa. Ao longo do uso do instrumento, há uma tendência que seu desempenho seja prejudicado, por desgastes inerentes de seus componentes ou até pelo mau uso, o que independente da causa, acaba comprometendo a confiabilidade da medição. Por isso, é necessário, analisar periodicamente o desempenho do instrumento de medição, para que sejam conhecidos os seus erros, de forma quantitativa. Assim, todos aqueles que o utilizam podem alcançar seus melhores resultados e com alto nível de confiabilidade das medições.

Uma das formas utilizadas mais completas para acompanhar este desempenho do instrumento, é pelo procedimento denominado calibração, importantíssimo para

determinar a confiabilidade da medição, que estabelece os erros e determina as incertezas de medição. Mas o que é calibração?

VIM (2012) define calibração sendo a:

[...] operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação. (VIM, 2012 p.27).

Portanto, a calibração é a comparação do resultado de um instrumento de medição a determinada grandeza com um padrão ou material padrão dentro de um ambiente controlado, a fim de definir seus erros e suas incertezas.

Segundo Albertazzi; Souza (2008):

A indicação de um sistema de medição ideal deve corresponder ao valor verdadeiro do mensurando. Nos sistemas de medição reais, há diferenças. Utilizando o procedimento experimental denominado calibração, é possível verificar a maneira efetiva como os valores indicados pelo sistema de medição se relacionam com os valores dos mensurando. (ALBERTAZZI; SOUZA, 2008, p.127)

Logo, de maneira abrangente sem estabelecer os erros e incertezas, os resultados das medições passam a não ter valor, seja entre eles mesmos ou com valores de referência dados numa especificação ou em norma, os mesmos passam a ser somente orientativo, por esse motivo os instrumentos de medição devem ser calibrados. Portanto é necessário que haja um conjunto de procedimento prontamente implementado, para caracterizar a qualidade de um resultado de uma medição.

A calibração permite determinar os erros do instrumento e as correções a serem aplicadas quando necessário, além de detectar outras propriedades metrológicas, como grandezas de influência na medição ou comportamento metrológico dos instrumentos em condições ambientais adversas, por exemplo, temperatura elevada ou muito baixa, umidade relativa do ar, etc.

Para realizar a calibração utiliza-se de padrões de referência que são “realização da definição duma dada grandeza, com um valor determinado e uma incerteza de medição associada, utilizada como referência” (VIM, 2012,p. 46). Conforme Albertazzi; Sousa (2008), padrões:

trata-se de meios de medição de qualidade superior, cujo valor de referência é estabelecido com nível excelente de incerteza. São alguns exemplos de padrões: (a) massa-padrão de 1 kg; (b) resistor padrão de 100  $\Omega$ ; (c) padrão de corrente elétrica; (d) padrão de frequência de césio; (e) eletrodo-padrão de hidrogênio. (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008 p.128),

Logo, o valor de referência na calibração é determinado por padrões com capacidade de medição superiores ou mais precisos que os instrumentos de medição e monitoramento ou materiais com valor conhecido e rastreável.

Por se tratar de um processo crítico, deve estabelecer as condições adequadas para que a calibração seja realizada com sucesso. Normalmente, adota-se preocupações que circunda as condições ambientais, equipamento, mão de obra ou qualquer outra que possa interferir no processo, a fim de que sejam eliminadas ou reduzidas. Nesse sentido a ISO 10012:2004 estabelece que:

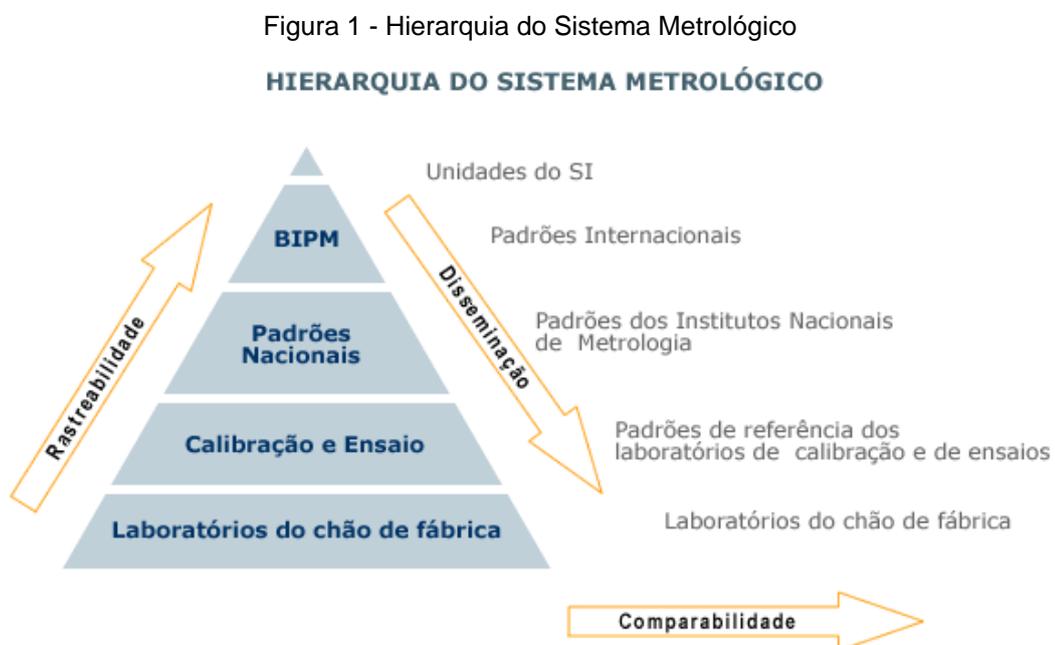
Requisitos metrológicos especificados são derivados de requisitos para o produto. Estes requisitos são necessários tanto para o equipamento de medição quanto para os processos de medição. Requisitos podem ser expressos como erro máximo permissível, incerteza permissível, faixa, estabilidade, resolução, condições ambientais ou habilidades do operador. (ISO 10012:2004, p. 2)

A calibração na área de dimensional, por exemplo, realizada em laboratórios que possuem todas as condições necessárias para o processo sob controle, acontece o controle de temperatura o mais próximo possível de 20 °C, a fim de evitar a dilatação do aço, e assim manter o valor esperado para o valor de referência.

Outro ponto relevante é que através da calibração, os resultados da medição executadas em um dado instrumento ou sistema de medição deve estabelecer associação com as respectivas definições no Sistema Internacional de Unidade (SI), padrões nacionais ou internacionais ou credenciados. Esse requisito deve ser

adotado para toda e qualquer calibração, pois é uma maneira para garantir a rastreabilidade, assegurando atendimento aos requisitos de desempenho.

Conforme descrito no VIM (2012), rastreabilidade é a propriedade do resultado de uma medição estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, todas tendo incertezas estabelecidas, através de uma cadeia contínua de comparações. Segue abaixo na figura 1, a hierarquia de rastreabilidade do sistema metrológico:



Fonte: Site do INMETRO, 2017.

No Brasil, a rastreabilidade é garantida quando os laboratórios são credenciados à RBC. Esse credenciamento acontece através da Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (CGCRE), que é realizado pela Divisão de Acreditação de Laboratórios (DICLA), partes constituintes do INMETRO. Assim, DICLA é responsável por avaliar e credenciar cada laboratório nos requisitos da norma NBR 17025:2005. Quando os laboratórios são aprovados passam a fazer parte da RBC.

A rastreabilidade é um item descrito em várias normas de caráter internacional, como é o caso das normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO/IEC 17025: 2005. Essas normas, em ao menos um de seus requisitos, tratam exclusivamente dos recursos de monitoramento e medição, a fim de garantir que o empreendimento que

a(s) adote(m) deve estabelecer e manter os recursos adequados, de modo a assegurar que resultados da monitorização e medição sejam válidos e confiáveis ao avaliar a conformidade dos produtos, processos e serviços.

A ISO 9001:2015 que dispõe em sua estrutura de boas práticas para assegurar a qualidade de todos os processos e produtos, trata dos recursos de monitoramento e medição no item 7.1.5; onde o subitem '7.1.5.1 Generalidades' descreve que:

A organização deve determinar e prover os recursos necessários para assegurar resultados válidos e confiáveis quando monitoramento ou medição for usado para verificar a conformidade de produtos e serviços com requisitos.

A organização deve assegurar que os recursos providos:

- a) Sejam adequados para o tipo específico de atividades de monitoramento e medição assumidas;
- b) Sejam mantidos para assegurar que estejam continuamente apropriados aos seus propósitos.

A organização deve reter informação documentada apropriada como evidência de que os recursos de monitoramento e medição sejam apropriados para os seus propósitos. (NBR ISO 9001:2015, pg 20)

A referida norma também estabelece que quando a rastreabilidade for um requisito para a organização, o instrumento de medição deve seguir algumas recomendações, como:

- Ser calibrado e/ou verificado, em intervalos especificados, ou antes, do uso, empregando padrões de medição rastreáveis a medições internacionais, nacionais ou normas, não sendo possível nenhuma dessas deve-se registrar a base usada para calibração ou verificação;
- Possuir identificação quanto a situação de calibração;
- Ser protegido contra ajustes, danos ou deterioração que invalidam o resultado da medição;
- Avaliar se os resultados de medições obtidos anteriormente pelo instrumento foram afetados de maneira adversa, tomando ação apropriada, quando necessário.

Não distante disso, a ISO 14001:2015, também aborda a necessidade de medir e monitorar em seu item 9. Avaliação de desempenho, subitem 9.1.1 Generalidades:

A organização deve monitorar, medir, analisar e avaliar seu desempenho ambiental.

A organização deve determinar:

- a) O que precisa ser monitorado e medido;
- b) Os métodos de monitoramento, medição, análise e avaliação, como aplicável, para assegurar resultados válidos;
- c) Os critérios pelos quais a organização irá avaliar seu desempenho ambiental e seus indicadores apropriados;
- d) Quando o monitoramento e a medição devem ser realizados;
- e) Quando os resultados de monitoramento e medição devem ser analisados e avaliados.

A organização deve assegurar que o equipamento de monitoramento e medição calibrado ou verificado é usado e mantido, conforme apropriado.

A organização deve avaliar seu desempenho ambiental e a eficácia do sistema de gestão ambiental.

A organização deve comunicar interna e externamente as informações pertinentes sobre o desempenho ambiental, como identificado em seu(s) processo(s) de comunicação e como requisitos por seus requisitos legais e outros requisitos.

A organização deve reter informação documentada apropriada como evidência de monitoramento, medição, análise e resultados da avaliação. (ISO 14001:2015)

Outra norma relevante é a ABNT NBR ISO 10012:2004, que orienta a gestão de processos de medição e comprovação metrológica de instrumento de medição, utilizado no suporte e demonstração da conformidade com os requisitos metrológicos. De modo geral irá: abranger os requisitos de garantia da qualidade que assegurarão que as medições sejam realizadas com a exatidão pretendida, especificar as principais características do sistema de comprovação utilizadas para os instrumentos de medição, aplicável aos instrumentos de medição utilizados na demonstração da concordância com a especificação, podendo ser aplicável a laboratórios de ensaio, a fornecedores de produtos ou serviços possuidores de um sistema da qualidade no qual os resultados de medição são utilizados para demonstrar conformidade com requisitos especificados.

Há também abordagem de fatores que influenciam na periodicidade de calibração, que são muitos entre eles o tipo de instrumento, recomendação do fabricante, extensão e severidade das condições de utilização, tendência ao desgaste e à instabilidade, frequência de verificação cruzada contra outros equipamentos ou padrões, condições ambientais, onde os mesmos são utilizados, exatidão pretendida, frequência e formalidade da verificação interna das calibrações, consequências de um valor medido erroneamente e da aceitação da medida decorrentes de falhas na calibração do instrumento, entre outros.

E não menos importante existe a NBR ISO/IEC 17025:2005, que regulamenta a acreditação de laboratórios de ensaios e de calibração, através de requisitos

padronizados e reconhecidos internacionalmente. Relevante destacar que essa norma estabelece que todo equipamento utilizado em ensaios e/ou calibrações deve garantir a exatidão pretendida e atender as especificações determinadas, além de ser calibrado:

Subitem 5.5.2: Os equipamentos e seus softwares usados para ensaios, calibrações e amostragem devem ser capazes de alcançar a exatidão requerida e devem atender às especificações pertinentes aos ensaios e/ou calibrações em questão. Devem ser estabelecidos programas de calibração para as grandezas ou valores dos instrumentos-chave quando estas propriedades tiverem um efeito significativo sobre os resultados.

[...]

Subitem 5.5.2: Os equipamentos e seus softwares usados para ensaios, calibrações e amostragem devem ser capazes de alcançar a exatidão requerida e devem atender às especificações pertinentes aos ensaios e/ou calibrações em questão. Devem ser estabelecidos programas de calibração para as grandezas ou valores dos instrumentos-chave quando estas propriedades tiverem um efeito significativo sobre os resultados. (NBR ISO/IEC 17025: 2005)

Outra característica da NBR ISO/IEC 17025:2005, é estar dividida em dois grupos: requisitos da direção e requisitos técnicos. O grupo de requisitos da direção, descritos ao longo do item 4 da norma, estabelece as exigências que o laboratório deve cumprir para demonstrar que cumpre os requisitos de sistema da qualidade exigidos para a gerência, ou seja, direciona a gestão da qualidade; e trata de assuntos relacionadas a organização, sistema da qualidade, controle de documentos, análise crítica dos pedidos, propostas e contratos, subcontratação de ensaios e calibrações, aquisição dos serviços e suprimentos, atendimento ao cliente, reclamações, controle dos trabalhos de ensaio e/ou calibrações não-conforme, ação corretiva, ação preventiva, controle de registros, auditorias internas e análises críticas pela gerência. Já os requisitos técnicos, abrangidos no item 5, tratam de pessoal, acomodações e condições ambientais, métodos de ensaio e calibração e validação de métodos (validação e incerteza de medição), equipamentos, rastreabilidade da medição, amostragem, manuseio de itens de ensaio e calibração, garantia da qualidade de ensaio e calibração e apresentação de resultados.

Nesse contexto, é evidente a importância do adequado controle da calibração dos instrumentos e sistema de medição de qualquer atividade, cujos resultados das medições afetem direta ou indiretamente a qualidade do produto, processo ou serviço. Logo, a calibração é uma oportunidade de aprimoramento constante e

proporciona vantagens como minimização de variações permitindo produtos mais uniformes, atribuindo assim vantagem competitiva a empresa e a redução nas perdas e retrabalhos pela fácil detecção de desvios ao longo do processo. Essa oportunidade muitas vezes vem quando ao menos se conhece a variabilidade e interferências no processo de calibração.

## **2.4 Variabilidade e interferências na calibração**

Normalmente, a indicação apresentada por um instrumento ou sistema de medição deve corresponder ao valor verdadeiro convencional. Na prática sabe-se que isso não acontece desta maneira, pois toda medição apresenta um tipo de erro, ou seja, uma diferença do valor verdadeiro convencional. Conforme VIM (2012), o conceito de erro de medição pode ser utilizado nas seguintes situações:

Quando existe um único valor de referência, o que ocorre se uma calibração for realizada por meio de um padrão de medição com um valor medido cuja incerteza de medição é desprezível, ou se um valor convencional for fornecido. Nesses casos, o erro de medição é conhecido;  
Caso se suponha que um mensurando é representado por um único valor verdadeiro ou um conjunto de valores verdadeiros de amplitude desprezível; neste caso, o erro de medição é desconhecido. (VIM, 2012)

As irregularidades dos instrumentos ou sistema de medição, as limitações técnicas dos usuários e a interferências do ambiente onde a medição é realizada são fatores que induzem ao erro de medição. Por melhor que seja a qualidade do instrumento ou sistema de medição, por mais treinado e qualificado seja o usuário, e por mais bem controlado sejam as condições ambientais do local onde será realizada a medição, ainda assim haverá erros.

Os erros sempre estarão presentes, como defende Albertazzi; Souza (2008):

Indesejável, mais inevitável, o erro de medição não pode ser ignorado. Negar a sua existência seria outro erro. Desde que seja entendidas as causas e as naturezas do erro de medição, é possível conviver com ele e ainda obter informações confiáveis de um processo de medição. (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008 p.39)

Os erros são divididos em dois tipos os sistemáticos e os aleatórios. O erro sistemático é aquele apresentado entre a diferença da média de infinitas medições

do instrumento e o valor verdadeiro convencional, obedecendo todas as condições de repetitividade das medições, ou seja, um erro sistêmico, que pode ser previsto, podendo ser atribuído ao desgaste do instrumento de medição, projeto de fabricação, método de medição ou até mesmo as condições ambientais. Este erro não costuma ser constante em todas as faixas de medição do SI, dificultando assim sua previsão.

O erro aleatório é produto das variações nas medições que podem ser analisadas estatisticamente pelo cálculo de sua dispersão de um conjunto de leituras de um instrumento que é estimada a partir do desvio padrão. Como é um erro não previsível, tem pouca utilização na prática, pois não se consegue fazer qualquer correção nas medições executadas, porém para se obter uma medição confiável o mesmo é muito importante para determinar e estimar a faixa da incerteza.

A incerteza é segundo VIM (2012):

Parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.

NOTA 1 A incerteza de medição inclui componentes provenientes de efeitos sistemáticos, tais como componentes associadas a correções e a valores atribuídos a padrões, assim como a incerteza definicional. Algumas vezes, não são corrigidos efeitos sistemáticos estimados mas, em vez disso, são incorporadas componentes de incerteza de medição associadas.

NOTA 2 O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio-padrão denominado incerteza padrão (ou um de seus múltiplos) ou a metade da amplitude dum intervalo tendo uma probabilidade de abrangência determinada.

NOTA 3 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 de medições 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 baseadas na experiência ou em outras informações.

NOTA 4 Geralmente para um dado conjunto de informações, subentende-se que a incerteza de medição está associada a um determinado valor atribuído ao mensurando. Uma modificação deste valor resulta numa modificação da incerteza associada. (VIM, 2012)

Existem dois tipos de incertezas de medição, que são analisados de formas diferentes, incerteza tipo A e tipo B. Uma forma de determinar uma incerteza em uma medição é por meio estatístico, analisando o comportamento das medições

realizadas em um ambiente controlado, média das medições, desvio padrão, este tipo de incerteza e denominado tipo A. Além das incertezas adquiridas por meio estatísticos, existem vários fatores analíticos que podem determinar um tipo de incerteza na medição, estas fontes são conhecidas como incerteza tipo B. A mesma engloba diversos fatores de várias áreas de conhecimento, como:

- Especificação fornecida pelo fabricante;
- Dados de calibração e certificados;
- Incertezas obtidas de manuais;
- Medições anteriores;
- Experiência do comportamento e propriedades dos materiais.

Após a determinação destas variáveis, é calculada incerteza combinada e depois se determina a incerteza expandida, que é a apresentada no certificado de calibração de instrumento. Todas estas variáveis bem estudadas e definidas proporciona uma medição de qualidade e com um nível de confiança estabelecida. Além disso, conhecer as variáveis e saber como controlá-las é um dos fatores que auxiliam na definição da periodicidade de calibração dos instrumentos.

## **2.5 Periodicidade e métodos para ajustar periodicidade de calibração**

Periodicidade é o intervalo de tempo, prescrito ou antes do uso, que os instrumentos de medição são submetidos à confirmação metrológica, e o objetivo dessa confirmação é melhorar a estimativa do desvio entre um valor de referência e o valor obtido pelo instrumento de medição e a incerteza neste desvio, confirmar se houve ou não alguma alteração do instrumento de medição que poderia gerar dúvidas sobre os resultados já realizados anteriormente, evitar que seja utilizado quando estiver fora da faixa aceitável e assim produzir erros no resultado, mas principalmente, manter e assegurar a confiabilidade nas medições realizadas (PORTELA, 2003).

Uma das decisões no processo de calibração dos instrumentos é como estabelecer o intervalo de calibração. A intuição técnica é a base inicial, mais utilizada, para determinar os intervalos de calibração e baseia-se na experiência de medições gerais ou no instrumento em estudo e, com conhecimento de intervalos usados por

outros laboratórios, faz uma estimativa de tempo para cada instrumento ou grupo de instrumentos, de modo a garantir a tolerância dentro do permitido, após a comprovação. Para tanto se orienta considerar alguns fatores como: recomendação do fabricante, extensão e severidade de uso, influência do ambiente, exatidão pretendida pela medição e dados de tendências históricas, obtidos a partir de registros de calibração anteriores. (THEISEN, 1997).

De modo geral, é perceptível que não é fácil estabelecer regras que determine os intervalos de calibração aplicáveis a todos, mas podem ser adotadas diretrizes sobre como os intervalos de calibração podem ser estabelecidos e posteriormente analisá-los criticamente quando a rotina já estiver implementada, permitindo que os intervalos sejam reduzidos ou ampliados, diante dos resultados de calibrações prévias que indicam que tais ações são adequadas para assegurar o nível de confiabilidade aceitável. Portanto, não existe um conceito de intervalo adequado para a calibração de instrumentos de medição, mesmo que muitas normas estabeleçam a necessidade.

Diante do exposto, a periodicidade de calibração vem sendo estabelecida, dentro das indústrias, por métodos informais ou práticos de estimação, baseados na confiabilidade. Nesse sentido, entenda o termo confiabilidade como a probabilidade que um instrumento de medição ou parâmetro esteja dentro da tolerância, sob condições ambientais específicas e um período de tempo estabelecido. Porém, pode-se considerar como ótimo, aquele intervalo que maximiza a periodicidade, reduzindo os custos de calibrações e aqueles envolvidos com as interrupções, bem como suas perdas; sem que a confiabilidade do produto ou processo fique comprometida.

Uma vez que a calibração em uma rotina foi estabelecida, o ajuste dos intervalos de calibração e sua revisão se fazem necessários, a fim de aperfeiçoar o equilíbrio de riscos e custos. Além disso, o intervalo inicial determinado pela intuição técnica e um sistema que mantém intervalos fixos sem revisão, não são considerados suficientemente confiáveis, não sendo recomendado.

Com isso, ao longo dos anos, desenvolveram-se alguns métodos, que consistem em fórmulas, tabelas e instruções para manter, reduzir ou aumentar a periodicidade de calibração. Existe uma gama de métodos disponíveis para revisar os intervalos de calibração, nesta pesquisa serão descritos: método A1, método A2, método A3, método A, método de Schumacher, Carta de Controle, Uso do Tempo, Verificação Periódica do Uso, Abordagens Estatísticas e RP-1.

### 2.5.1 Método A1

Pelo método A1, a periodicidade das calibrações é ajustada levando em consideração a condição de conformidade do instrumento na calibração e o grau de confiabilidade de medição (PORTELA, 2003).

Para o estabelecimento do ajuste, quando o grau de confiabilidade for estabelecido para ser de aproximadamente 95%, existem duas situações possíveis de conformidade:

- Situação A: Quando o instrumento é calibrado e os desvios apresentados estão dentro da tolerância especificada;
- Situação B: Os desvios apresentados estão fora da tolerância especificada.

Então, quando o instrumento estiver na situação A o intervalo de calibração aumentará em 10%. Porém, se enquadrado na situação B, o instrumento terá seu intervalo de calibração reduzido em 55 %. Por exemplo, um dado instrumento é calibrado a cada 365 dias. Aplicando este método, caso o equipamento enquadrar na situação A, o novo intervalo de calibração será de 402 dias. Mas caso se enquadrado na situação B, o intervalo será reduzido para 164 dias.

### 2.5.2 Método A2

Assim como no método anterior, esse também é definido em função da conformidade do instrumento, porém o seu ajuste leva em consideração a amplitude dos desvios em relação à tolerância do processo estabelecido. (NOVASKI; FRANCO, 2000).

A classificação dos desvios define-se em três códigos, 0, 1 e 2, a fim de identificar o grau de especificação dos desvios. O intervalo de calibração é ajustado de acordo com o fator, conforme apresentado no quadro 1:

Quadro 1 - Código e fator para ajuste do intervalo de calibração para Método A2

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fator</b>
0	Instrumentos que apresentam desvios dentro das especificações	+1,81 %
1	Instrumentos que apresentam desvios fora das especificações, com valores menores que duas vezes a especificação	- 12,94%
2	Instrumentos que apresentam desvios fora das especificações, com valores maiores que duas vezes a especificação	-20,63%

Fonte: Novaski; Franco, 2000.

Considerando então um instrumento que o intervalo de calibração seja de 365 dias, deverá ser reduzido à 289 dias se enquadrado no código 2, 317 dias se no código 1 e aumentar o intervalo em 372 dias se enquadrado no código 0.

As vantagens e desvantagens desse método e do método A1 são iguais, já que permite a análise individual do instrumento, baixíssima dificuldade operacional e não se baseia no histórico e desempenho do instrumento.

### 2.5.3 Método A3

Este método não se limita somente ao resultado da calibração em andamento, considera também o conceito de análise histórica. O novo intervalo de calibração será estabelecido após analisada a condição de conformidade da situação atual mais o das duas últimas calibrações. Analisa e estabelece o ajuste dos períodos em intervalos semanais. (PORTELA, 2003).

É considerado os resultados das duas últimas calibrações anteriores, para tomar as seguintes ações: continuar, aumentar, reduzir ou reduzir drasticamente o período das calibrações. Novaski; Franco (2000) apresenta qual ação tomar levando em

consideração o status da calibração atual mais as duas últimas, conforme relacionado no quadro 2:

Quadro 2 - Ações para o estabelecimento do ajuste, conforme Método A3

Ações	Status de Calibração em relação à tolerância		
	Atual	Última	Antepenúltima
Continuar	Dentro	Novo	-
	Dentro	Fora	Novo
	Dentro	Fora	Dentro
	Dentro	Dentro	Fora
	Dentro	Fora	Fora
	Fora	Novo	-
	Fora	Dentro	Novo
	Fora	Dentro	Dentro
Aumentar	Dentro	Dentro	Novo
	Dentro	Dentro	Dentro
Reduzir	Fora	Dentro	Fora
Reduzir drasticamente	Fora	Fora	Novo
	Fora	Fora	Dentro
	Fora	Fora	Fora

Fonte: Novaski; Franco, 2000.

Os percentuais para aumentar, reduzir e reduzir drasticamente serão de 50%, 10% e 50% , respectivamente (DUNHAM; MACHADO,2008)

#### 2.5.4 Método Schumacher

Similar ao método A3, nesse método, os instrumentos serão classificados conforme o status de conformidade em que se encontram, levando em consideração o histórico do status, de duas ou três calibrações anteriores, que receberão a indicação conforme as letras abaixo (NOVASKI; FRANCO, 2000):

- A = equipamento com avaria que impedia o seu funcionamento;
- F = equipamento funcionava, porém, fora das tolerâncias estabelecidas;

- C = instrumento funcionava dentro das tolerâncias estabelecidas.

Posteriormente, com base na condição de recebimento do equipamento e nas duas ou três calibrações anteriores, determinar por meio do descrito no quadro 4, qual a decisão que deve ser tomada. Esta decisão é indicada por letras, segundo Novaski; Franco (2000) conforme segue:

- D: diminuir o intervalo entre as calibrações em 10%;
- E: aumentar o intervalo entre as calibrações em 20%;
- P: incerteza na análise, portanto o intervalo não deve ser alterado;
- M: reduzir ao máximo possível o intervalo entre as calibrações em 35%;

Quadro 3 - Ações para o estabelecimento de ajuste pelo método Schumaker

Ciclos Anteriores	Condições de Recebimento		
	A	F	C
CCC	P	D	E
FCC	P	D	E
ACC	P	D	P
CF	M	M	P
CA	M	M	P
FC	P	M	P
FF	M	M	P
FA	M	M	P
AC	P	D	P
FA	M	M	P
AA	M	M	P

Fonte: Novaski; Franco, 2000.

O quadro 4 exemplifica o intervalo sugerido aplicando o método Schumacher:

Quadro 4 - Ajustes sugeridos pelo método Schumaker

Intervalo Atual (dias)	Intervalo sugerido pelo método (dias)		
	Aumentar para:	Reduzir para:	Máxima redução
35	49	28	28
70	91	63	42
105	126	98	63
140	168	126	91
175	203	161	112
210	245	189	140
245	280	224	161
280	315	252	175
315	343	287	182
350	364	315	189

Fonte: Novaski; Franco, 2000.

Logo, para um instrumento com periodicidade de calibração de 280 dias e que tanto nos ciclos anteriores e na calibração atual o instrumento possui o status conforme (C), o novo intervalo sugerido é de 315 dias, por exemplo.

#### 2.5.5 Método – Carta de Controle

O erro do instrumento é monitorado ao longo do tempo e plotado no gráfico, resultado de uma carta de controle.

A carta de controle é uma das ferramentas utilizadas para identificar as variações de um processo e determinar se as variações são do tipo causa comum (intrínsecas) ou causas especiais (aleatórias). Cartas de controle não determinam as causas das variações.

Para Siqueira (1997):

A carta de controle é uma ferramenta extremamente útil para identificar se as variações observadas num processo são decorrentes de causas comuns de variação e, portanto, de pequena significância, ou decorrentes de causas

especiais de variação e, portanto, de grande significância que necessitam ser identificadas e eliminadas do processo. (SIQUEIRA, 1997, p. 09)

E quando as causas são eliminadas, o processo está sob controle, como descrito por Siqueira (1997, p. 47): “quando as causas especiais de variação são eliminadas de um processo, e os pontos plotados na carta de controle permanecem dentro dos limites de controle, diz-se que o processo esta sob controle”.

A aplicação da carta de controle não se fará diferente para este método funcionará da seguinte forma: pontos de calibração significativos são escolhidos e os resultados são representados graficamente em decorrência do tempo. Calcula-se então tanto a dispersão dos resultados quanto os desvios, a partir dessas parcelas. Pode adotar o desvio sendo o desvio significativo ao longo de um intervalo de calibragem ou a deriva ao longo de vários intervalos, quando o instrumento for muito estável. De posse dos dados, o intervalo ideal pode ser calculado. (PORTELA, 2003).

#### 2.5.6 Método - Uso do Tempo

Varição dos métodos anteriores, porém considera o intervalo de calibração em horas de uso ao invés de meses. A calibração no instrumento é realizada quando se atinge o tempo de uso, demonstrado no indicador de tempo acoplado no instrumento.

As desvantagens na prática a utilização de um controle automático são muitas, como: alto custo para aquisição dos indicadores de tempo adequados, necessidade de maior supervisão já que os usuários podem intervir no indicador, e por não serem utilizados em instrumentos conhecidos como de fácil deterioração na prateleira ou no manuseio, nos passivos (por exemplo atenuadores) ou padrões (por exemplo capacitância. E a vantagem, pelo menos teoricamente, é que o custo e o número de calibrações varia diretamente com a quantidade de tempo que o instrumento é utilizado (ILAC-G24:2007).

#### 2.5.7 Método - Verificação Periódica do Uso

Indicado para instrumentos mais complexos, esse método adota a verificação periódica do instrumento no seu local de uso através de padrões, e consiste na

verificação dos parâmetros críticos. Se considerado fora do erro máximo admissível o instrumento é enviado para a calibração. (ILAC-G24:2007).

A maior disponibilidade do instrumento para o usuário é a maior vantagem desse método, pois a calibração completa só é feita quando é realmente necessária; porém a dificuldade está em decidir sobre os parâmetros críticos e definir o padrão. Mas o método pode apresentar a falha em dado parâmetro que não é monitorado. Exemplos de instrumentos adequados para esse método são medidores de densidade, dosímetros e som medidores de nível (ILAC-G24:2007).

#### 2.5.8 Método 5 - Abordagens Estatísticas

Método baseado na análise estatística de confiabilidade também pode ser aplicados e, geralmente, requerem conhecimentos mais profundos e aplicação de software.

Os intervalos de calibração podem ser revistos com a ajuda de métodos estatísticos, por isso, esse método é muito utilizado quando um grande número de instrumentos devem ser calibrados (ILAC-G24:2007).

#### 2.5.9 Método 6 – Método RP-1

O método *Recommended Practice – 1 (RP - 1): Establishment and Adjustment of Calibration Intervals* do *National Conference of Standards Laboratories (NCSL)*, parte do princípio de que se o equipamento apresenta um histórico de conformidade há uma maior tendência de que esta conformidade mantenha nas calibrações futuras.

Para determinar o novo intervalo de calibração, considera-se o histórico de três calibrações anteriores e associa-se peso a elas, sendo que o peso maior é dado para a última calibração, por ser o mais atual.

O novo intervalo será dado por:

$$NI = CI \cdot (W1 \cdot X + W2 \cdot Y + W3 \cdot Z)$$

Fonte: RP-1, 2010

Onde:

- NI = novo intervalo;
- CI = o atual intervalo de calibração;
- W1 = peso dado ao resultado da última calibração;
- W2 = peso dado ao resultado da penúltima calibração;
- W3 = peso dado ao resultado da antepenúltima calibração;
- X = multiplicador referente ao resultado da última calibração;
- Y = multiplicador referente ao resultado da penúltima calibração;
- Z = multiplicador referente ao resultado da antepenúltima calibração.

Quadro 5 - Valores dos multiplicadores X, Y e Z – Método RP – 1

<b>Resultado da Calibração</b>	<b>Valor Atribuído</b>
Dentro da Tolerância	1
Fora da tolerância, não excedendo 1x a faixa	0,8
Fora da tolerância, não excedendo 2x a faixa	0,6
Fora da tolerância, não excedendo 4x a faixa	0,4
Fora da tolerância, excedendo 1x a faixa	0,3

Fonte: RP - 1: Establishment and Adjustment of Calibration Intervals, 2010

Para os multiplicadores X, Y e Z, o valor atribuído deve atender ao disposto no quadro 6. Os pesos atribuídos correspondem a 0,8, 0,3 e 0,2, respectivamente para W1, W2 e W3.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Pesquisa quanto aos fins

Gil (2010) afirma que a pesquisa pode ser classificada de diferentes maneiras conforme seus objetivos, podendo ser exploratórias, descritivas e explicativas.

As pesquisas exploratórias, de acordo com Gil (2010, p. 27) “têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vista a torná-lo explícito ou a construir hipóteses”, com a finalidade de desenvolver, esclarecer e realizar modificações no que é conhecido, visando à formulação de problemas mais precisos para estudos posteriores. Esse tipo de pesquisa apresenta maior flexibilidade em seu planejamento, pois considera “os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado” (GIL, 2010, p. 27). É necessária uma pesquisa mais detalhada, de maneira que as informações coletadas contribuam para melhor fundamentar os esclarecimentos necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Já as pesquisas descritivas, segundo Gil (2010) e Vergara (1998), têm o objetivo de descrever determinada população ou de estabelecer relações entre variáveis, logo é necessário um maior conhecimento das características desses elementos. Nos modelos de pesquisas descritivas há aquela com a finalidade em determinado grupo e suas características, podendo ou não buscar a relação entre essas características; e até mesmo determinar a natureza da relação; possibilitando a compreensão do problema como um todo.

Segundo Lakatos; Marconi (2006), a pesquisa explicativa identifica os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. É o tipo que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas. Por isso, é o tipo mais complexo e delicado.

Referente a presente pesquisa, trata-se de uma pesquisa exploratória uma vez que o tema abordado em utilizar métodos científicos e estatísticos como ferramenta para determinar a periodicidade de calibração de instrumento de medição ainda é pouco utilizado pelas organizações de um modo geral, evidenciando assim a necessidade

de aprofundamento nos estudos. Acredita-se que ao apresentar e discutir diferentes métodos para determinação da calibração de instrumentos permitirá uma aproximação do grupo de pesquisa com as características específicas do tema explorado, possibilitando uma melhor investigação deste.

O levantamento dos instrumentos, seu histórico, o mapeamento da forma como se dá a determinação do período de calibrações na organização em estudo, questionários e os recursos bibliográficos, formam-se a base para esta pesquisa, visando proporcionar maior familiaridade com o problema e aprimoramento de ideias para um melhor desenvolvimento, possibilitando a formulação de hipóteses mais precisas.

### **3.2 Pesquisa quanto aos meios**

Os resultados das pesquisas devem ser consistentes, porém para que isso seja possível, é necessário que o planejamento da pesquisa seja bem elaborado. Isto permitirá maior amadurecimento no sentido de se encontrar soluções para problema em questão.

Quanto aos meios, Gil (2010) classifica como pesquisa bibliográfica, documental, experimental, ensaio clínico, estudo de coorte, estudo caso controle, levantamento, estudo de caso, fenomenológica e etnográfica.

- a) Pesquisa bibliográfica: elaborada a partir de material documentado já publicado como livros, revistas, artigos acadêmicos e outros; sejam eles impressos, via internet, CDs ou outras fontes. A revisão em documentos visa identificar o quão estudado é aquele assunto e fazer com que os pesquisadores tenham os embasamentos teóricos necessários;
- b) Pesquisa documental: é similar a pesquisa bibliográfica, difere pelo fato de que materiais de consulta é interno à organização, normalmente ainda não editados, através de consultas a documentos como registros, ofícios, circulares, memorandos, entre outros;
- c) Pesquisa experimental: trata-se da realização e desenvolvimento de experimentos, em determinar objeto de estudo e através de manipulação de

- variáveis e análises identificar quais as modificações que o experimento causou. Busca-se entender as modificações ocorridas obter um resultado;
- d) Pesquisa ensaio clínico: abrange estudos de caráter experimental que através de intervenções, sejam novas drogas ou tratamentos, observa-se os efeitos sob o resultado final, afim de responder a eficácia da intervenção;
  - e) Pesquisa de estudo de coorte: consiste no estudo de dado com características comuns, observados em certo período de tempo, para analisar o que acontece. Muito utilizada no campo das ciências da saúde.
  - f) Pesquisa estudo caso-controle: é o tipo de pesquisa que, ao contrário do ensaio clínico e estudo de coorte, partem da consequência ocorrida para o fato de exposição ao risco, ou seja, partem do consequente para o antecedente. Nesse tipo de pesquisa não é permitido ao pesquisador nenhum tipo de controle sobre as variáveis, ele deve identificar e trabalhar com a situação que ocorrer naturalmente;
  - g) Levantamento: pesquisa desenvolvida a partir das informações coletadas através da interrogação direta das pessoas. Essas informações coletadas são analisadas, de maneira quantitativa, para obter conclusões;
  - h) Pesquisa fenomenológica: tipo de estudo que procura compreender os fenômenos, através da experiência vivida;
  - i) Pesquisa etnográfica: tipo de estudo que baseada em informações coletadas no campo, e compiladas para caracterização de uma cultura específica.

Há também o estudo de caso, que segundo Yin (2005) é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos, Serve, também, para responder questionamentos que o pesquisador não tem muito controle sobre o fenômeno estudado. Geralmente lhe é atribuído o método qualitativo, que fornece detalhes que possibilitarão ao pesquisador uma visão mais aprofundada do objeto estudado, permitindo um conhecimento mais sólido e robusto.

Ainda conforme Yin (2005), o estudo de caso trata-se de uma forma de se fazer pesquisa investigativa de fenômenos atuais dentro de seu contexto real, em situações em que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não estão claramente

estabelecidos. O estudo de caso pode ser exploratórios (quando se quer encontrar informações preliminares sobre o assunto estudado), descritivos (objetivo é descrever o estudo) e analíticos (quando se quer problematizar ou produzir novas teorias que irão proporcionando avanços do conhecimento) (YIM, 2005).

A presente pesquisa tem como delineamento para a sua metodologia um estudo de caso na empresa voltada para produtos e sistemas eletrônicos e elétricos, uma vez que será realizado um estudo através de observações no processo de determinação da periodicidade de calibração dos instrumentos de medição, investigando as atividades realizadas dentro desse processo de determinar o intervalo entre as calibrações. Este estudo de caso circundará o processo de medição de uma organização específica, com a finalidade de aprimorar o conhecimento e assim estender a aplicabilidade de possíveis métodos existentes para determinação de intervalo entre as calibrações.

### **3.3 Organização em estudo**

A empresa em estudo foi fundada no Japão em 1875, sendo uma rede global de mais de 590 empresas consolidadas, empregando mais de 200.000 pessoas ao redor do mundo, com vendas anuais ultrapassando 6,5 trilhões de ienes (US\$ 63 bilhões). Está voltada para produtos e sistemas eletrônicos e elétricos avançados, em cinco setores: energia e infraestrutura, soluções para a comunidade, sistemas e serviços de assistência à saúde, dispositivos e componentes eletrônicos, e produtos e serviços de estilo de vida.

Ela iniciou suas operações no Brasil em 1967, e atualmente consiste de oito subsidiárias, incluindo *joint ventures*, e empregando 3091 pessoas. Esta pesquisa será desenvolvida na unidade existente na cidade de Contagem, no estado de Minas Gerais. Nesta unidade em estudo, são produzidos transformadores de potência, transformadores para fornos, transformadores para retificadores e ciclo conversores, transformadores defasadores, transformadores industriais transformadores isolados a gás SF<sub>6</sub> ate 145 kV, transformadores isolados a óleo vegetal, transformadores conversores – HVDC, regulador de tensão monofásico, reatores de derivação ate 550 kV e reator shunt.

### 3.4 Universo e amostra

O universo de uma pesquisa é o conjunto de elementos que possuem as características que serão objeto do estudo, abrange o todo (VERGARA, 1997). Porém como defendido por Gil (2002), o universo de elementos é tão amplo que passa a ser impossível de analisá-lo como um todo, fazendo com que seja necessário determinar uma amostra deste universo, definida como:

Grupo de elementos ou sujeitos selecionados a partir de um grupo maior (população). Subconjunto da população em estudo. Quando a amostra é representativa dessa população, supõe-se que os dados obtidos por meio da amostra possam ser generalizados para a população da qual a mesma se originou. (APPOLINÁRIO, 2004, p. 23).

As amostras podem assumir ser probabilística ou não probabilística. A amostra probabilística é aquela em que todos os sujeitos têm a mesma chance de serem escolhidos e representam a população. Já a amostra não probabilística, os elementos não possuem a mesma chance entre si de serem selecionados, ou seja, não existe uma probabilidade da amostra representar a população.

Assim pode-se determinar como universo desta pesquisa o histórico de calibração dos instrumentos de medição determinados como objeto de estudo desta pesquisa. A pesquisa então será desenvolvida sob uma amostra não probabilística, em que serão escolhidas as três últimas calibrações dos instrumentos. O número de calibrações foi determinado por ser um requisito para aplicação de alguns métodos descrito na metodologia desta pesquisa. A definição do universo e amostra da pesquisa esta descrito no quadro 6 abaixo:

Quadro 6 - Definição do universo e amostra da pesquisa

<b>Instrumentos de medição</b>	<b>Históricos de calibrações</b>	<b>Calibrações que serão analisadas</b>
Shunt	6	3
Voltímetro	11	3
Paquímetro dimensional	8	3
Traçador de altura dimensional	3	3
Termômetro	4	3
Indicador de controlador de temperatura	10	3
Manôvacuometro	9	3
Manômetro	8	3

Fonte: Autores, 2017.

Portanto, o universo da pesquisa contemplará 59 registros de calibrações de oito instrumentos de medição escolhidos para o desenvolvimento da pesquisa e a amostra restrita a 24 registros de calibrações destes instrumentos.

### **3.5 Formas de coleta e análise dos dados**

De acordo com Gil (2002) são utilizados vários métodos para coleta de dados, dependendo diretamente da cooperação e disponibilidade dos envolvidos na comunidade que será pesquisada.

- a) Observação: a observação consiste em um exame minucioso que requer atenção na coleta e análise dos dados;
- b) Questionário: refere-se a um meio de obter respostas às questões por uma fórmula que o próprio informante preenche. Ele pode conter perguntas abertas e/ou fechadas. As abertas possibilitam respostas mais ricas e variadas e as fechadas maior facilidade na tabulação e análise dos dados;
- c) Entrevista: a entrevista é um dos instrumentos básicos para a coleta dos dados, pois ocorre uma conversa oral entre duas pessoas, o entrevistador e o entrevistado, conforme o tipo de entrevista o papel dos dois pode variar;

- d) Análise documental: É a pesquisa realizada em documentos arquivados em locais públicos ou privados, com pessoas, registro, anais, diários, cartas, comunicações informais, etc..

Para essa pesquisa aplicou-se um questionário aberto, presente no apêndice. O questionário foi aplicado ao responsável pela área de metrologia e um técnico, com objetivo de identificar e mapear o processo de entrada de instrumento de medição, identificar como e em que etapa é determinada a periodicidade de calibração, se dispõe de alguma metodologia para revisão desses períodos, como controlam os prazos e também se sugerem alguma modificação ou melhoria no processo estabelecido hoje.

A empresa demonstrou uma lista dos equipamentos existentes no processo e que estão ativos, de onde foram retirados aleatoriamente aqueles objeto de estudo desta pesquisa. Os instrumentos escolhidos estão apresentado no quadro 7.

Quadro 7 - Instrumentos de medição objetos de estudo da pesquisa

Instrumentos	Função
 <p>Shunt (marca: Haelefy)</p>	<p>Instrumento utilizado para medir corrente no transformado no ensaio de impulso.</p>
 <p>Voltímetro Analógico (marca: Yokogawa)</p>	<p>Instrumento elétrico utilizado para medição de tensão induzida no transformador.</p>

Fonte: Autores, 2017.

Quadro 7 - Instrumentos de medição objetos de estudo da pesquisa (continuação)

 <p>Paquímetro Analógico ( marca: Mitutoyo)</p>	<p>Instrumento dimensional utilizado para checagem de peças no recebimento da matéria prima.</p>
 <p>Traçador de altura (marca: Mitutoyo)</p>	<p>Instrumento dimensional utilizado para traçar peças na usinagem para furo ou fresamento.</p>
 <p>Termômetro (marca: Hanna)</p>	<p>Instrumento utilizado para medição da temperatura do transformador no ensaio de aquecimento.</p>
 <p>Indicador e controlador de temperatura (marca: Novus)</p>	<p>Instrumento utilizado para controlar e indicar a temperatura da estufa onde e feito a secagem da parte ativa do regulador de tensão.</p>
 <p>Manôvacuômetro (marca: Naka)</p>	<p>Instrumento de pressão utilizado para medição no teste de estanqueidade do transformador ou regulador.</p>
 <p>Manômetro (marca: Naka)</p>	<p>Instrumento de pressão utilizado para medição do tencionamento da fita do jugo no núcleo do transformador.</p>

A análise documental se deu através de registros de calibração fornecidos pela empresa, com o objetivo de identificar o período de calibração adotado para os instrumentos escolhidos, avaliação do resultado da calibração, além do levantamento histórico das últimas três calibrações desses instrumentos, realizadas no período de 2013 a 2017. A atividade subsequente foi a compilação dos dados históricos, em tabela de forma a facilitar a visualização e entendimento.

Dando continuidade a pesquisa, ocorreu a aplicação de alguns dos métodos propostos em literatura para determinar o novo período de calibração dos instrumentos escolhidos. O objetivo principal em aplicar esses métodos foi de extinguir a chamada intuição técnica, contribuir para uma maior segurança nos futuros resultados de medições e criar uma constante revisão do intervalo de calibração, permitindo sistemas considerados confiáveis, que preservam a confiabilidade e exatidão necessária nas medições e tendem a atribuir melhor qualidade ao produto e processo. Para compilação dos resultados foi usado o editor de planilhas Excel, voltado para elaboração de tabelas e gráficos que permitiram comparar os dados históricos e os resultados obtidos com a aplicação dos métodos propostos por Novaski; Franco (2000), Portela (2013) e as normas ILAC-G24 e RP-1.

### **3.6 Limitação da Pesquisa**

Todo método de pesquisa possui suas limitações, apresentando algumas barreiras e dificuldades que são encontradas no decorrer da pesquisa, não sendo detectadas na maioria das vezes no início. Outra limitação se dá por ser um assunto de referências bibliográficas restritas, restringindo assim, algumas aplicações de novas metodologias.

O acesso a registros na íntegra e a viabilidade da aplicação de métodos podem ser uma potencial limitação, já que requerem custos operacionais e aquisições de bens.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Mapeamento do processo de avaliação de periodicidade de calibração de instrumentos**

A definição do processo produtivo, inspeção ou ensaio final de um produto é onde identifica-se a necessidade de medição, ou seja, um instrumento deve ser inserido para realizar tal tarefa. Neste momento a engenharia de produção ou a gerência da área define o que será medido e qual instrumento se adapta melhor na especificação, com auxílio de especificações técnicas, análise crítica de processo, projetos, normas nacionais e internacionais.

Depois de definido o instrumento, sua aquisição é providenciada através da solicitação de compra. Ao chegar na unidade, o instrumento é enviado para a inspeção de recebimento e é comunicada a sua chegada a área solicitante para que providencie a retirada do instrumento. É feita uma avaliação, pela área solicitante e pela metrologia, se há necessidade de calibração ou não do instrumento: se a necessidade não for identificada, o instrumento é liberado para uso. Em caso contrário, a área solicitante deverá definir os parâmetros metrológicos tais como faixa a ser calibrada, periodicidade, exatidão requerida, critérios de aceitação, pontos a calibrar e referências normativas. Para essa definição o responsável baseia-se no manual do fabricante, normas nacionais e internacionais, especificação do cliente ou experiência técnica.

Todos esses dados metrológicos são descritos na ficha individual de instrumento que juntamente com o instrumento é enviado para a área de metrologia. De posse de todos os parâmetros metrológicos, a metrologia deve definir se tem capacidade ou não de realizar a calibração internamente se sim deve ser montado um procedimento de calibração, de posse deste procedimento o instrumento deve ser calibrado e emitido seu certificado de calibração. Caso seja detectado que a empresa não tem condição de realizar esta calibração internamente o instrumento deve ser enviado para um laboratório qualificado.

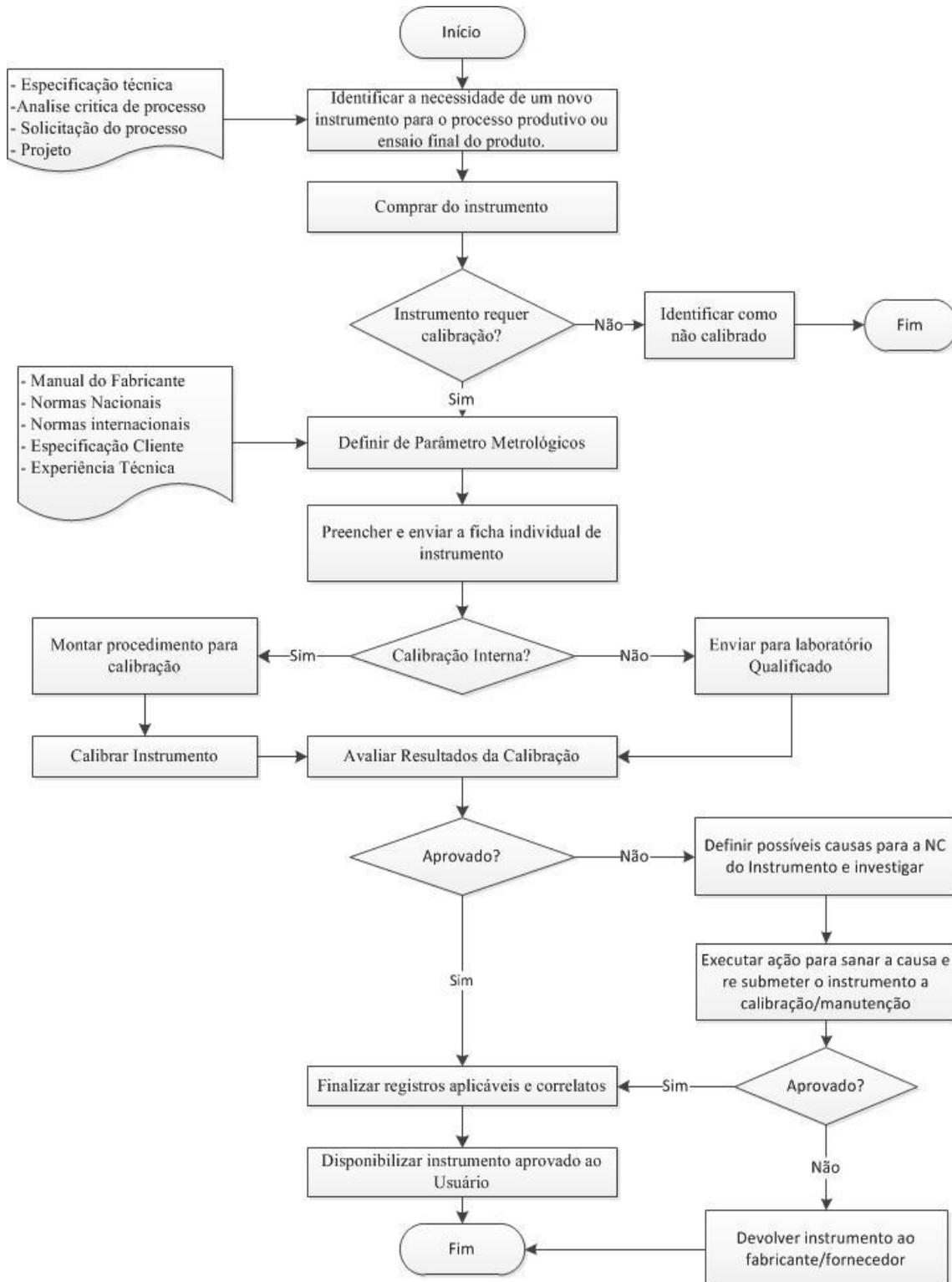
Todos esses dados metrológicos são descritos na ficha individual, apresentado no anexo B, de instrumento que juntamente com o instrumento é enviado para a área de metrologia. De posse de todos os parâmetros metrológicos, a metrologia deve definir se tem capacidade ou não de realizar a calibração internamente se sim deve ser montado um procedimento de calibração, de posse deste procedimento o instrumento deve ser calibrado e emitido seu certificado de calibração. Caso seja detectado que a empresa não tem condição de realizar esta calibração internamente o instrumento deve ser enviado para um laboratório qualificado.

Qualquer que seja a calibração adotada, interna ou externa, será gerado o laudo de calibração com todos os erros e incertezas de medição, que serão analisados pela área de metrologia. Caso os resultados não sejam satisfatórios, deve-se definir o motivo da não conformidade do instrumento e tentar sanar toda causa do problema. Persistindo os erros, o instrumento deverá ser devolvido ao fabricante. Porém, se os resultados forem satisfatórios, finaliza-se os registros aplicáveis e correlatos, o instrumento é cadastrado no sistema e identifica-se o status da calibração, os selos de proteção e integridade. Finalizada todas essas ações o instrumento é disponibilizado para uso.

Depois de ingressado no processo e no sistema, o instrumento passará por calibrações em intervalos constantes e determinados anteriormente. Quando ocorrer do instrumento apresentar o status de reprovado e aberto uma não conformidade para analisar as possíveis causas, ele é submetido a manutenção e ajustado. Após calibrado, o instrumento retorna ao seu status de disponível e com a mesma periodicidade de calibração. Se o instrumento apresentar o mesmo status nessa nova calibração é retirado do processo.

O fluxograma apresentado na figura 2 demonstra o processo de determinação da periodicidade de calibração do instrumento, na empresa em estudo.

Figura 2 - Fluxograma do processo de determinação da periodicidade de instrumento



Fonte: Autores, 2018.

Observou-se que não é requerida nenhuma competência específica do usuário na determinação do período de calibração do instrumento e, também, não há especificação de qual usuário está apto a determiná-lo. Além disso, uma vez determinado o período de calibração de um instrumento de medição, não acontece nenhuma revisão no ajuste da periodicidade adotada, ou seja, o período de calibração adotado inicialmente é o mesmo até o fim de sua vida útil.

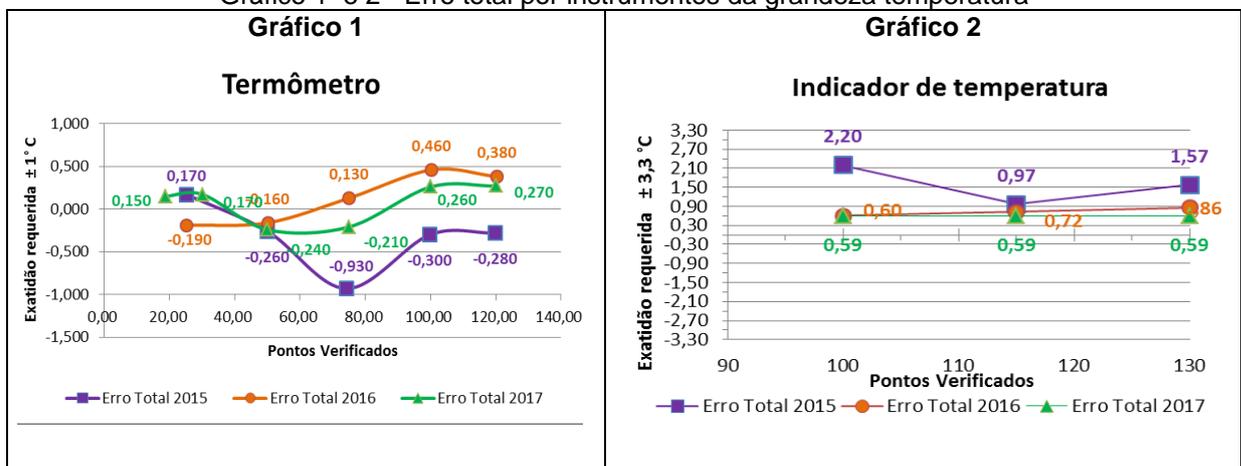
#### 4.2 Identificação do histórico de calibração dos instrumentos em estudo

Para a análise dos resultados foi considerado o erro total das medições, ou seja, a soma em módulo do erro e incerteza, prevalecendo aquele valor mais crítico. Isto porque na etapa de definição de parâmetros metrológicos, a empresa em estudo define como o critério de aceitação do instrumento aquele que estiver com todos os pontos calibrados dentro do intervalo da exatidão requerida no processo em que o instrumento está inserido.

Abaixo são apresentados os resultados, separados em grandezas. Os gráficos estão apresentados da seguinte forma, o eixo y representa a exatidão requerida para as medições e no eixo x apresenta os pontos calibrados.

O gráfico 1 e 2 apresentam os resultados dos erros nos instrumentos termômetro e indicador de temperatura, ambos referente a grandeza de temperatura.

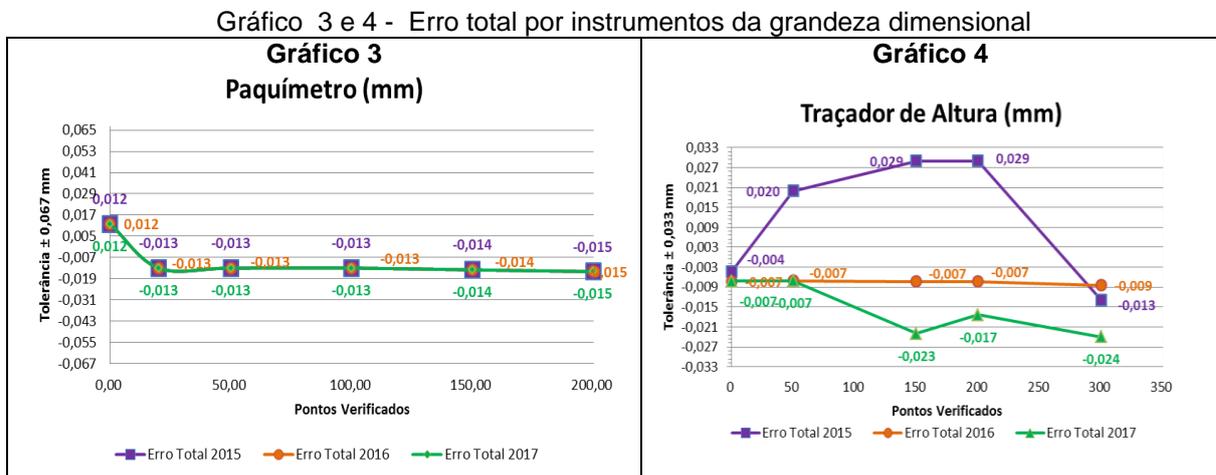
Gráfico 1 e 2 - Erro total por instrumentos da grandeza temperatura



Fonte: Autores, (2018).

Nos gráficos 1 e 2, é possível notar que tanto o indicador de temperatura quanto o termômetro atenderam o critério de aceitação da empresa no histórico apresentado. Porém, percebe-se que no ano de 2015 houve uma maior variação no valor do erro total dentro da exatidão requerida, tanto entre os pontos como na comparação entre os anos. Outro ponto observado foi de que no ano de 2015, o erro de  $-0,930\text{ }^{\circ}\text{C}$  do termômetro e o erro de  $2,20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ficaram próximos do limite de exatidão de  $-1,00\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $3,30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

Os gráficos 3 e 4 apresentam os resultados dos erros nos instrumentos paquímetro e traçador de altura, ambos referente a grandeza dimensional.

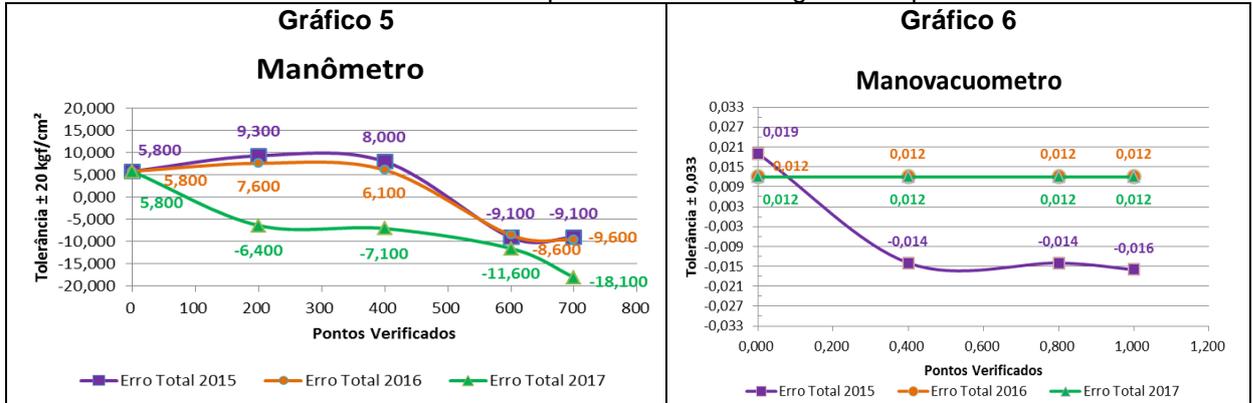


Fonte: Autores, (2018).

Referente à grandeza dimensional, o gráfico 3 e 4 apresentam o erro total dos instrumentos paquímetro e traçador de altura, ambos aprovados nos anos analisados. O paquímetro apresentou o erro total dentro da exatidão requerida e um valor constante nos pontos de calibração nos três anos avaliados. Já o traçador de altura apresentou uma dispersão no valor do erro nos pontos verificados no ano de 2015 e 2017, e no ano de 2015 dois pontos calibrados apresentaram o erro total de  $0,029\text{ mm}$ , ou seja,  $87,9\%$  de erro em cada ponto calibrado sob a faixa de exatidão. Além disso, o ano de 2015 apresenta maior variação dentro da faixa da exatidão requerida.

O gráfico 5 e 6 apresentam os resultados dos erros nos instrumentos manômetro e manovacuômetro, ambos referente a grandeza de pressão.

Gráfico 5 e 6 - Erro total por instrumentos da grandeza pressão



Fonte: Autores, (2018).

Para a grandeza pressão, os resultados verificados nos gráficos 5 e 6, foram do instrumentos manômetro e manovacuumetro, onde nos três históricos de calibração os valores mantiveram dentro da exatidão requerida, portanto aprovados. Porém, no manômetro é notado, uma variação no ano de 2017 em relação aos demais anos do histórico apresentado com um erro bem próximo do limite ocupando 90,5 % da faixa especificada.

Nos gráficos 7,8 e 9 estão representados os resultados dos erros nos instrumentos voltímetro e shunt, ambos referente a grandeza de elétrica.

Gráfico 7, 8 e 9 - Erro total por instrumentos da grandeza elétrica

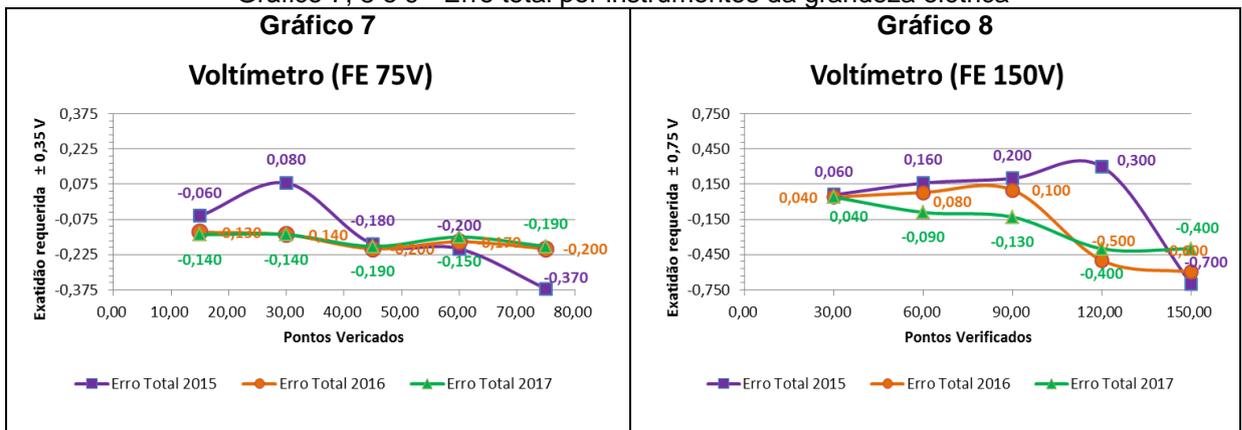
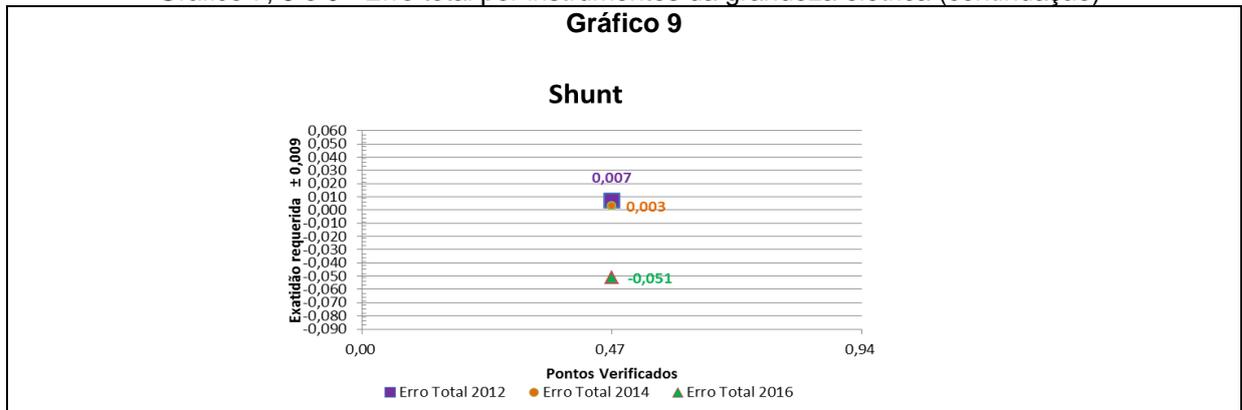


Gráfico 7, 8 e 9 - Erro total por instrumentos da grandeza elétrica (continuação)



Fonte: Autores, (2018).

Já para a grandeza elétrica, os erros representados nos gráficos 7, 8 e 9 faz referência aos instrumentos voltímetro e shunt, sendo que o voltímetro apresenta duas escala: 75V e 150V. O voltímetro, em ambas as escalas, manteve o erro dentro da exatidão requerida, com alguns pontos próximos ao limite. No ano de 2015, para a escala 75V no ponto 75V o erro obtido foi de -0,370V, bem próximo do limite de -0,375 V. Para o FE 150V, é observado maior dispersão no ponto de calibração de 150V, nas três últimas medições com erros também bem próximos ao limite da exatidão determinada para o instrumento.

Enquanto isso, o shunt, também representado no gráfico 9, apresentou valores de erro total nos anos de 2012 e 2014 dentro da exatidão requerida estando assim aprovado, porém no ano de 2016 o instrumento foi reprovado, pois o resultado obtido na calibração extrapolou o limite da exatidão determinada.

Nota-se, portanto que a empresa leva em consideração apenas que o erro total esteja dentro da faixa de exatidão requerida para determinar o status do aparelho e que nada é analisado para revisão ou determinação do intervalo de calibração do instrumento, ou seja, o período de calibração não é revisto em função dos resultados dos erros. Se o instrumento no início de sua vida útil é determinado um intervalo de 365 dias, esse período perpetuará até o fim de sua vida. Mesmo para aqueles instrumentos em que o erro total foi bem próximo do limite da faixa da exatidão requerida o período de calibração não foi revisto, e por estar bem próximo do limite,

alguma ação deveria ser tomada quanto a este intervalo. Os resultados sugerem que deve haver revisão dos períodos de calibração na empresa objeto de estudo.

### 4.3 Proposição de metodologia para avaliação da periodicidade de calibração dos instrumentos

Para a elaboração de uma proposta que determine o melhor período de calibração nos instrumentos da empresa em estudo, aplicou-se os métodos descritos nesta pesquisa, que são apresentados abaixo.

O quadro 8 apresenta o período adotado atualmente de cada um dos equipamentos e também o novo período com a aplicação do método A1.

Quadro 8 - Novo período de calibração segundo Método A1

Instrumento	Período adotado atualmente (dias)	Última Calibração	Aplicando método A1	
			Situação	Novo período (dias)
Shunt	730	Reprovado	B	329
Voltímetro Analógico	365	Aprovado	A	402
Paquímetro Analógico	365	Aprovado	A	402
Traçador de Altura	365	Aprovado	A	402
Termômetro	365	Aprovado	A	402
Indicador e Controlador de Temperatura	365	Aprovado	A	402
Manovacuometro	365	Aprovado	A	402
Manômetro	365	Aprovado	A	402

Fonte: Autores, (2018).

O novo período adotado para cada instrumento, estabelecido no quadro 8, seguem o exposto por Portela (2003), sendo que os instrumentos voltímetro, paquímetro, traçador de altura, termômetro, indicador e controlador de temperatura, manovacuometro e manômetro aumentará em 10% o número de dias em seu período de calibração uma vez que os resultados encontram-se dentro da especificação, ou seja, na situação A em que o método A1 classifica. Em

contrapartida, o shunt apresenta-se na situação B, em que o resultado está fora da especificação e deverá ser reduzido em 55%.

Abaixo, no quadro 9, apresenta-se período a ser adotado para cada instrumento utilizando o método A2.

Quadro 9 - Novo período de calibração segundo Método A2

Instrumento	Período adotado atualmente (dias)	Última Calibração	Aplicando método A2	
			Código	Novo período
Shunt	730	Reprovado	2	579
Voltímetro Analógico	365	Aprovado	1	372
Paquímetro Analógico	365	Aprovado	1	372
Traçador de Altura	365	Aprovado	1	372
Termômetro	365	Aprovado	1	372
Indicador e Controlador de Temperatura	365	Aprovado	1	372
Manovacuometro	365	Aprovado	1	372
Manômetro	365	Aprovado	1	372

Fonte: Autores, (2018).

No quadro 9, determinam-se os novos períodos aplicando fatores de ajustes de acordo com o orientado por Novaski; Franco (2000). Assim os instrumentos voltímetro, paquímetro, traçador de altura, termômetro, indicador e controlador de temperatura, manovacuometro e manômetro tiveram seu período de calibração corrigido pelo fator de 1.81%, já shunt o foi corrigido pelo fator -20,63% pois o resultado anterior apresentou-se maior que duas vezes o valor da faixa de tolerância.

Para os períodos de calibração alcançados aplicando-se o método A3, apresenta-se o quadro 10 abaixo.

Quadro 10 - Novo período de calibração segundo Método A3

Instrumento	Período adotado atualmente (dias)	Histórico de Calibração			Aplicando método A3	
		Atual	Última	Antepenúltima	Ação	Novo período
Shunt	730	Fora	Dentro	Dentro	Continuar	730
Voltímetro Analógico	365	Dentro	Dentro	Dentro	Aumentar	548
Paquímetro Analógico	365	Dentro	Dentro	Dentro	Aumentar	548
Traçador de Altura	365	Dentro	Dentro	Dentro	Aumentar	548
Termômetro	365	Dentro	Dentro	Dentro	Aumentar	548
Indicador e Controlador de Temperatura	365	Dentro	Dentro	Dentro	Aumentar	548
Manovacuometro	365	Dentro	Dentro	Dentro	Aumentar	548
Manômetro	365	Dentro	Dentro	Dentro	Aumentar	548

Fonte: Autores, (2018).

Conforme Dunham; Machado(2008), o shunt permanece com o mesmo intervalo de calibração já que seu ultimo resultado mostrou-se fora do limite de tolerância. Para todos os demais instrumentos o novo período foi acrescido em 50% de dias no período adotado anteriormente.

O quadro 11 demonstra o novo período adotado considerando o método Schumacher.

Quadro 11 - Novo período de calibração segundo Método Schumacher

Instrumento	Período adotado atualmente (dias)	Ciclos Anteriores	Aplicando método Schumacher	
			Ação	Novo período
Shunt	730	CCF	Diminuir	657
Voltímetro Analógico	365	CCC	Aumentar	438
Paquímetro Analógico	365	CCC	Aumentar	438
Traçador de Altura	365	CCC	Aumentar	438
Termômetro	365	CCC	Aumentar	438
Indicador e Controlador de Temperatura	365	CCC	Aumentar	438
Manovacuometro	365	CCC	Aumentar	438
Manômetro	365	CCC	Aumentar	438

Fonte: Autores, (2018).

Segundo Novaski; Franco(2000), com o histórico das últimas três calibrações o shunt diminui o intervalo de calibração em 10%. Para todos os instrumentos estudados o novo período foi acrescido em 20% de dias baseado no período adotado anteriormente.

O quadro 12 traz o período adotado atualmente de cada um dos equipamentos, além do novo período com a aplicação do método RP – 1.

Quadro 12 - Novo período de calibração segundo Método RP-1

Instrumento	Período adotado atualmente (dias)	Última Calibração	Aplicando método RP – 1
			Novo período
Shunt	730	Reprovado	540
Voltímetro Analógico	365	Aprovado	475
Paquímetro Analógico	365	Aprovado	475
Traçador de Altura	365	Aprovado	475
Termômetro	365	Aprovado	475
Indicador e Controlador de Temperatura	365	Aprovado	475
Manovacuometro	365	Aprovado	475
Manômetro	365	Aprovado	475

Fonte: Autores, (2018).

Portanto, de acordo com a NCSL ao aplicar a fórmula definida em RP-1 o novo intervalo para o voltímetro, paquímetro, traçador de altura, termômetro, indicador e controlador de temperatura, manovacuometro e manômetro será de 438 dias, ou seja, teve um aumento de 73 dias. O shunt terá uma redução de 73 dias, adotando um novo período de 657 dias de intervalo entre as calibrações seguindo o determinado pelo método.

Alguns dos métodos abordados na metodologia dessa pesquisa foram inviáveis a aplicação. O método carta de controle necessita de mais dados históricos que os disponibilizados para a pesquisa. Para o método uso do tempo era necessário à aquisição de indicador de tempo além de adaptações para acoplá-los nos instrumentos, o que demandaria recurso financeiro e tempo maior para acompanhamento da metodologia, itens que não disponíveis até a conclusão desta pesquisa.

O método verificação periódica esbarra em situações, como treinamento da mão de obra que utiliza o equipamento e aquisição de padrões, que requerem esforços, entendidos no momento como desnecessários, portanto não justificáveis. E o método de abordagens estatísticas requer softwares e conhecimentos que ultrapassam o limite dessa pesquisa.

É possível notar que na maior parte dos métodos, o shunt teve seu período de calibração reduzido por ter apresentado uma calibração reprovada. Para os demais instrumentos, um novo período foi determinado, com um intervalo maior do estabelecido anteriormente, uma vez que não foi identificada nenhuma variação fora do limite de tolerância em suas calibrações. Porém, nenhum dos métodos considera o quão próximo está o resultado do limite da faixa de tolerância e nem mesmo o quanto essa variação ocorre ao longo do tempo. Para os métodos, aqui aplicados, basta apenas o status de aprovado ou reprovado.

Ignorar a proximidade do resultado em relação ao limite da faixa especificada pode comprometer os resultados que ao instrumento trará ao ser utilizado até a próxima calibração, pois facilmente apresentará erros na medição que tendem a

desencadear, no processo, impactos significativos como refugo de peças/produto. Porém, em uma análise imediata e superficial, este erro no processo não seria atribuído ao instrumento de imediato, ao menos que o processo apresente controles eficazes após a utilização do instrumento.

Por isso, sugere-se a adoção do método que além da avaliação do status históricos de aprovado ou reprovado das três últimas calibrações, também considere a análise do resultado dentro da faixa de tolerância do instrumento nesse mesmo histórico. Assim, sugere-se que o novo intervalo de calibração seja estabelecido após análise da conformidade da situação atual e das suas duas últimas calibrações e os seus respectivos erros totais. Para os percentuais indicativos de aumento ou redução do período de calibração, manteve-se os sinalizados na metodologia de Shcumacher. Sendo que:

Se o instrumento apresentar as três últimas calibrações o status de aprovado (identificado como A), devem ser feitas as seguintes análises:

- Se os resultados dos pontos calibrados estiverem até 75 % dentro da faixa de tolerância o intervalo de calibração deve aumentar 20%;
- Se os resultados dos pontos calibrados estiverem entre 75 - 100 % dentro da faixa de tolerância o intervalo de calibração deve ser mantido.

Porém, se o instrumento apresentar um ou mais status de reprovado (identificado como R), em quaisquer das três últimas calibrações a análise deve ser feita sob os seguintes pontos:

- Se os resultados dos pontos calibrados apresentam desvios fora da especificação, com valores menores que duas vezes a especificação, diminuir o intervalo entre as calibrações em 10%;
- Se os resultados dos pontos calibrados apresentam desvios fora das especificações, com valores maiores que duas vezes a especificação, reduzir ao máximo possível o intervalo entre as calibrações em 35%.

Quadro 13 - Novo período de calibração segundo Método Proposto

Instrumento	Período adotado atualmente (dias)	Status Anteriores	Aplicando método proposto	
			Ação	Novo período
Shunt	730	AAR	Diminuir	475
Voltímetro Analógico	365	AAA	Manter	365
Paquímetro Analógico	365	AAA	Aumentar	438
Traçador de Altura	365	AAA	Manter	365
Termômetro	365	AAA	Manter	365
Indicador e Controlador de Temperatura	365	AAA	Aumentar	438
Manovacuometro	365	AAA	Aumentar	438

Assim, com base na avaliação dos resultados, sugere-se que os instrumentos paquímetro, indicador e controlador de temperatura e manovacuometro adote o intervalo de calibração de 438 dias, uma vez que seus status nas três últimas calibrações apresenta-se como aprovado e todos os pontos calibrados apresenta o erro total dentro de 75% da faixa de tolerância.

Já para os instrumentos voltímetro, traçador de altura e termômetro ao aplicar o método proposto, o intervalo de calibração seria mantido, pois mesmo com o status de aprovado nas três últimas calibrações, o erro total de ao menos um ponto calibrado, quando analisados individualmente, apresenta-se entre 75 – 100% da faixa de tolerância.

O shunt teve seu período reduzido em 35%, uma vez que possui um status de reprovado dentre as três últimas calibrações consideradas e o erro total referente a essa reprovação está maior que duas vezes da faixa de tolerância.

## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto na pesquisa, é possível perceber a forte relação entre a metrologia e a qualidade, já que um processo produtivo é embasado em normas técnicas, procedimentos e especificações para a elaboração e produtos que satisfaçam as necessidades dos clientes e, para isso, necessita de ferramentas que possam auxiliar e suportar o processo, papel desempenhado pelas medições, em qualquer que seja a tarefa ou etapa do processo.

Para a garantia da confiabilidade das medições, é imprescindível o processo de calibração que, dentre outros fatores que o compõe, está o intervalo de calibração dos instrumentos. Este fator é estratégico para organização, visto que decisões importantes são tomadas, em função dos resultados das medições realizadas. Devido a sua importância, o intervalo de calibração deve ser bem definido e revisado, preferencialmente, segundo os métodos bem embasados e sempre adequando a necessidade do processo.

Após a aplicação dos métodos definidos na literatura revisada, foi possível verificar que esses se preocupam apenas com o status da calibração, ou seja, leva-se como informação para a tomada de decisão apenas o status de aprovado ou reprovado do instrumento. Por isso, houve a necessidade de proposição de um método que além da avaliação do histórico de calibração e o status, também considerasse a análise do resultado de erros totais dos pontos calibrados, dentro da faixa de tolerância do instrumento nesse mesmo histórico. A ação a ser tomada para aumento ou redução do período de calibração, considerando os percentuais definidos na metodologia de Shcumacher.

O intervalo de calibração quando bem determinado estimula a prática da melhoria contínua, pois tende a contribuir para a redução da taxa de refugo ou retrabalho de produtos, desprender menores gastos com a manutenção corretiva dos instrumentos de medição, aumentar a disponibilidade do instrumento na fábrica, dentre outros. Vale destacar que a tomada de decisão quanto a adoção do intervalo de calibração do instrumento deve sempre priorizar o nível de confiabilidade dos resultados sob margem de segurança e com a menor variabilidade possível de erro e incerteza.

Logo, os resultados da pesquisa puderam apresentar, a partir da análise dos dados de uma empresa específica, uma nova proposta proposição do método para avaliação do intervalo de calibração, com a limitação de atender às necessidades específicas da empresa selecionada para o estudo. Para pesquisas futuras, propõe-se uma análise semelhante à realizada nesta pesquisa, a saber: a de indagação da periodicidade de calibração de instrumentos em processos onde os serviços metrológicos podem causar impactos significativos na produtividade.

## REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, Armando G. Jr.; SOUSA, André R. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. 1º ed. São Paulo: Ed. Manole, 2008.

APPOLINÁRIO, Fabio. **Dicionário de Metodologia Científica** - Um Guia para a Produção do Conhecimento Científico. São Paulo: Ed. Atlas S.A, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ABEPRO. Disponível em: < <http://www.abepro.org.br>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. **Áreas da engenharia de produção**. 2017. Disponível em:< <https://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362>>. Acesso em: 09nov2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO/IEC 17025:2005**: Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de calibração e Ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 9001:2015** - Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. 2ª. Edição, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 10012:2004** - Sistemas de gestão de medição – requisitos para os processos de medição e equipamentos de medição Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14001:2015** - Sistemas de gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. São Paulo: 2014.

ARAÚJO, Elinaldo B. de. **A organização da função Garantia da Qualidade e o papel da Metrologia**. Florianópolis: UFSC, 1995. Dissertação de Mestrado.

DUNHAM, Paulo Cezar C. L.; MACHADO, Marcio. **Método de alteração de intervalos entre calibrações**. São Paulo: Rede Metrológica de São Paulo - ENQUALAB-2008, 2008.

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). 2ª. Ed. 2004.

ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP. **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**. Disponível em: < <http://www.abepro.org.br/publicacoes/>>. Acesso em: 19mar. 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO, **Sistema Internacional de Unidades** – SI; 8ª. ed. Rio de Janeiro: INMETRO, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **A Metrologia Legal no Brasil**. 2012. Disponível em: <<http://inmetro.gov.br/metlegal/metBrasil.asp#>>. Acesso em 23 Set. 2017, 19:35.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados - VIM 2012**. 1ª. ed. - Rio de Janeiro: Ed. INMETRO, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **CONMETRO** – Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/conmetro.asp>>. Acesso em 23 Set. 2017, 21:55.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Histórico do Inmetro**. 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inmetro/historico.asp> Acesso em: 23 set. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **SINMETRO** – Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. INMETRO, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/sinmetro.asp>>. Acesso em 23 Set. 2017, 18:20.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Guia para a Expressão da Incerteza de Medição**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: INMETRO, 2003.

INTERNATIONAL LABORATORY ACCREDITATION COOPERATION – ILAC. **ILAC-G24: Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments**. OIML, 2007.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. 3. reimpr. São Paulo: Atlas, 2006.

LEITE, Luciana Rosa. **Engenharia da Qualidade**. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Santa Catarina, 2016. Disponível em: <[http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/rosa/materiais/Unidade\\_1\\_\\_\\_Revisao\\_de\\_GQ\\_e\\_Estatistica.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/rosa/materiais/Unidade_1___Revisao_de_GQ_e_Estatistica.pdf)>. Acesso em: 09nov2017.

LIRA, Francisco Adval de. **Metrologia na Indústria**. São Paulo: Editora Érica, 2001.

NATIONAL CONFERENCE OF STANDARDS LABORATORIES –NCSL. **Recommended Practice – 1 - RP-1: Establishment and Adjustment of Calibration Intervals**. 2010.

NOVASKI, Olívio; FRANCO, Samuel Mendes. **Comparação entre métodos para estabelecimento e ajuste de intervalos de calibração**. Sociedade Brasileira de Metrologia. Metrologia 2000 – São Paulo.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade: teoria e prática**, 2ª Ed. São Paulo: Atlas, 2004.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da Qualidade: teoria e prática**. 3ª. ed. São Paulo: Atlas 2012.

PORTAL EDUCAÇÃO. **A história da organização ISO**. 25 mar. 2013. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/cotidiano/a-historia-da-organizacao-iso/40732>>. Acesso em: 25 Set. 2017, 12:10.

PORTELA, Willian. **Ajuste da Frequência de Calibração de Instrumentos de Processo** – Foco na Indústria Farmacêutica. In Metrologia, v I. Recife: Metrologia para a Vida, 2003.

SARAIVA, C. P., **Ferramentas para ajustar a periodicidade de calibração**. Rede Metrológica de São Paulo, ENQUALAB - 2005, São Paulo, 2005.

SIQUEIRA, Luiz Gustavo Primo. **Controle estatístico do processo** - Equipe Grifo. São Paulo: Pioneira Abimaq Sindimaq, 1997.

THEISEN, Álvaro Medeiros de Farias. **Fundamentos da metrologia industrial: aplicação no processo de certificação ISO 9000**. Porto Alegre: Suliani, 1997, 205p.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 1997.

VERGARA, Silvy. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

**Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados - VIM 2012**. 1ª. ed. - Rio de Janeiro: Ed. INMETRO, 2012.

## ANEXO

## ANEXO A Recortes dos históricos de calibrações dos instrumentos

MAPA DE ANÁLISE DE CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTO							FOLHA: <b>1/1</b>
IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO: SHUNT		SHUNT 601/072			TOLERÂNCIA: $\pm 2\%$		
DATA	TOLERÂNCIA ( $\Omega$ )	VALOR PADRAO $\Omega$	VALOR DO INSTRUMENTO $\Omega$	ERRO ( $\Omega$ )	U95% ( $\Omega$ )	ERRO TOTAL ( $\Omega$ )	STATUS
2012	$\pm 0,0094 \Omega$	0,463243	0,47	0,006757	0,00025	0,007007	APROVADO
2014	$\pm 0,0094 \Omega$	0,4666995	0,47	0,00330	0,0000031	0,00330	APROVADO
2016	$\pm 0,0094 \Omega$	0,517	0,47	-0,05	0,0042	0,4658	REPROVADO

MAPA DE ANÁLISE DE CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTO							FOLHA: <b>1/1</b>
IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO		Indicador e controlador de temperatura 604/066			TOLERÂNCIA: $\pm 3,3 \text{ } ^\circ\text{C}$		
DATA	TOLERÂNCIA ( $^\circ\text{C}$ )	VALOR DO PADRÃO ( $^\circ\text{C}$ )	VALOR DO INSTRUMENTO ( $^\circ\text{C}$ )	U95% ( $^\circ\text{C}$ )	ERRO ( $^\circ\text{C}$ )	ERRO TOTAL ( $^\circ\text{C}$ )	STATUS
2015	$\pm 3,3 \text{ } ^\circ\text{C}$	99,100	100,00	1,3000	0,90	2,20	APROVADO
		114,630	115,00	0,600	0,37	0,97	APROVADO
		129,030	130,00	0,600	0,97	1,57	APROVADO
2016	$\pm 3,3 \text{ } ^\circ\text{C}$	100,000	100,00	0,60	0,00	0,60	APROVADO
		114,870	115,00	0,59	0,13	0,72	APROVADO
		129,730	130,00	0,59	0,27	0,86	APROVADO
2017	$\pm 3,3 \text{ } ^\circ\text{C}$	100,000	100,00	0,59	0,00	0,59	APROVADO
		115,000	115,00	0,59	0,00	0,59	APROVADO
		130,000	130,00	0,59	0,00	0,59	APROVADO

MAPA DE ANÁLISE DE CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTO							FOLHA:
IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO							<b>1/1</b>
Termometro 604/142					TOLERÂNCIA $\pm 1^\circ \text{C}$		
DATA	TOLERÂNCIA ( $^\circ\text{C}$ )	VALOR DO PADRÃO ( $^\circ\text{C}$ )	VALOR DO INSTRUMENTO ( $^\circ\text{C}$ )	U95% ( $^\circ\text{C}$ )	ERRO ( $^\circ\text{C}$ )	ERRO TOTAL ( $^\circ\text{C}$ )	STATUS
2015	$\pm 1^\circ \text{C}$	25,160	25,20	0,13	0,04	0,1700	APROVADO
		50,130	50,00	0,13	-0,13	-0,2600	APROVADO
		75,000	74,20	0,13	-0,80	-0,9300	APROVADO
		99,970	99,80	0,13	-0,17	-0,3000	APROVADO
		119,950	119,80	0,13	-0,15	-0,2800	APROVADO
2016	$\pm 1^\circ \text{C}$	25,160	25,10	0,13	-0,06	-0,1900	APROVADO
		50,130	50,10	0,13	-0,03	-0,1600	APROVADO
		75,100	75,10	0,13	0,00	0,1300	APROVADO
		100,070	100,40	0,13	0,33	0,4600	APROVADO
		120,050	120,30	0,13	0,25	0,3800	APROVADO
2017	$\pm 1^\circ \text{C}$	18,670	18,70	0,12	0,03	0,1500	APROVADO
		30,150	30,20	0,12	0,05	0,1700	APROVADO
		50,020	49,90	0,12	-0,12	-0,2400	APROVADO
		74,990	74,90	0,12	-0,09	-0,2100	APROVADO
		99,860	100,00	0,12	0,14	0,2600	APROVADO
		119,850	120,00	0,12	0,15	0,2700	APROVADO

MAPA DE ANÁLISE DE CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTO							FOLHA:
IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO							<b>1/1</b>
Manovacuumetro 616/094					0,033 kgf/cm <sup>2</sup>		
TOLERÂNCIA:							
DATA	TOLERÂNCIA (kgf/cm <sup>2</sup> )	VALOR DO PADRÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )	VALOR DO INSTRUMENTO (kgf/cm <sup>2</sup> )	U95% (kgf/cm <sup>2</sup> )	ERRO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ERRO TOTAL (kgf/cm <sup>2</sup> )	STATUS
2015	$\pm 0,033$ kgf/cm <sup>2</sup>	-0,007	0,00	0,0120	0,007	0,019	APROVADO
		0,402	0,40	0,012	-0,002	-0,014	APROVADO
		0,802	0,80	0,012	-0,002	-0,014	APROVADO
		1,004	1,00	0,012	-0,004	-0,016	APROVADO
2016	$\pm 0,033$ kgf/cm <sup>2</sup>	0,000	0,00	0,012	0,00	0,012	APROVADO
		0,400	0,40	0,012	0,00	0,012	APROVADO
		0,800	0,80	0,012	0,00	0,012	APROVADO
		1,000	1,00	0,012	0,00	0,012	APROVADO
2017	$\pm 0,033$ kgf/cm <sup>2</sup>	0,000	0,00	0,012	0,00	0,012	APROVADO
		0,400	0,40	0,012	0,00	0,012	APROVADO
		0,800	0,80	0,012	0,00	0,012	APROVADO
		1,000	1,00	0,012	0,00	0,012	APROVADO

MAPA DE ANÁLISE DE CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTO							FOLHA:
							1/1
IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO		MANOMETRO 616/166			TOLERÂNCIA: 20 kgf/cm <sup>2</sup>		
DATA	TOLERÂNCIA (kgf/cm <sup>2</sup> )	VALOR DO PADRÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )	VALOR DO INSTRUMENTO (kgf/cm <sup>2</sup> )	U95% (kgf/cm <sup>2</sup> )	ERRO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ERRO TOTAL (kgf/cm <sup>2</sup> )	STATUS
2015	± 20 kgf/cm <sup>2</sup>	0,000	0,00	5,8000	0,00	5,80	APROVADO
		196,800	200,00	6,100	3,20	9,30	APROVADO
		398,000	400,00	6,000	2,00	8,00	APROVADO
		602,500	600,00	6,600	-2,50	-9,10	APROVADO
		702,500	700,00	6,600	-2,50	-9,10	APROVADO
2016	± 20 kgf/cm <sup>2</sup>	0,000	0,00	5,80	0,00	5,80	APROVADO
		198,200	200,00	5,80	1,80	7,60	APROVADO
		399,700	400,00	5,80	0,30	6,10	APROVADO
		602,800	600,00	5,80	-2,80	-8,60	APROVADO
		703,800	700,00	5,80	-3,80	-9,60	APROVADO
2017	± 20 kgf/cm <sup>2</sup>	0,000	0,00	5,80	0,00	5,80	APROVADO
		200,600	200,00	5,80	-0,60	-6,40	APROVADO
		401,300	400,00	5,80	-1,30	-7,10	APROVADO
		605,800	600,00	5,80	-5,80	-11,60	APROVADO
		712,300	700,00	5,80	-12,30	-18,10	APROVADO

MAPA DE ANÁLISE DE CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTO							FOLHA:
							1/1
IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO		PAQUIMETRO 626/067			Tolerância: 0,067 mm		
DATA	TOLERÂNCIA	VALOR DO PADRÃO (mm)	VALOR DO INSTRUMENTO (mm)	U95% (mm)	ERRO (mm)	ERRO TOTAL (mm)	STATUS
2015	± 0,067 mm	0,000	0,00	0,012	0,000	0,012	APROVADO
		20,001	20,00	0,012	-0,001	-0,013	APROVADO
		50,001	50,00	0,012	-0,001	-0,013	APROVADO
		100,001	100,00	0,012	-0,001	-0,013	APROVADO
		150,002	150,00	0,012	-0,002	-0,014	APROVADO
		200,002	200,00	0,013	-0,002	-0,015	APROVADO
2016	± 0,067 mm	0,000	0,00	0,012	0,000	0,012	APROVADO
		20,001	20,00	0,012	-0,001	-0,013	APROVADO
		50,001	50,00	0,012	-0,001	-0,013	APROVADO
		100,001	100,00	0,012	-0,001	-0,013	APROVADO
		150,002	150,00	0,012	-0,002	-0,014	APROVADO
		200,002	200,00	0,013	-0,002	-0,015	APROVADO
2017	± 0,067 mm	0,000	0,00	0,012	0,000	0,012	APROVADO
		20,001	20,00	0,012	-0,001	-0,013	APROVADO
		50,001	50,00	0,012	-0,001	-0,013	APROVADO
		100,001	100,00	0,012	-0,001	-0,013	APROVADO
		150,002	150,00	0,012	-0,002	-0,014	APROVADO
		200,002	200,00	0,013	-0,002	-0,015	APROVADO

MAPA DE ANÁLISE DE CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTO							FOLHA:
							1/1
IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO		Traçador de Altura 630/003			TOLERÂNCIA: ±0,033 mm		
DATA	TOLERÂNCIA (mm)	VALOR DO PADRÃO (mm)	VALOR DO INSTRUMENTO (mm)	U95% (mm)	ERRO (mm)	ERRO TOTAL (mm)	STATUS
2015	±0,033 mm	0,001	0,00	0,0058	-0,001	-0,004	APROVADO
		50,001	50,01	0,011	0,009	0,020	APROVADO
		150,002	150,02	0,011	0,018	0,029	APROVADO
		200,002	200,02	0,011	0,018	0,029	APROVADO
		300,002	300,00	0,011	-0,002	-0,013	APROVADO
2016	±0,033 mm	0,001	0,00	0,01	-0,001	-0,007	APROVADO
		50,001	50,00	0,01	-0,001	-0,007	APROVADO
		150,002	150,00	0,01	-0,001	-0,007	APROVADO
		200,002	200,00	0,01	-0,001	-0,007	APROVADO
		300,003	300,00	0,01	-0,003	-0,009	APROVADO
2017	±0,033 mm	0,001	0,00	0,01	-0,001	-0,007	APROVADO
		50,001	50,00	0,01	-0,001	-0,007	APROVADO
		150,002	149,99	0,01	-0,012	-0,023	APROVADO
		200,002	199,99	0,01	-0,011	-0,017	APROVADO
		300,003	299,99	0,01	-0,013	-0,024	APROVADO

MAPA DE ANÁLISE DE CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTO							FOLHA:
IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO							<b>1/1</b>
VOLTIMETRO 609/006					TOLERÂNCIA $\pm 0,5\%FE$		
DATA	TOLERÂNCIA (V)	VALOR DO PADRÃO (V)	VALOR DO INSTRUMENTO (V)	U95% (V)	ERRO (V)	ERRO TOTAL (V)	STATUS
2015 Escala 150 V	$\pm 0,75$ V	29,980	30,00	0,04	0,02	0,060	APROVADO
		59,920	60,00	0,08	0,08	0,160	APROVADO
		89,900	90,00	0,10	0,10	0,200	APROVADO
		119,900	120,00	0,20	0,10	0,300	APROVADO
		150,500	150,00	0,20	-0,50	-0,700	APROVADO
2015 Escala 75 V	$\pm 0,375$ V	15,010	15,00	0,05	-0,01	-0,060	APROVADO
		30,000	30,00	0,08	0,00	0,080	APROVADO
		45,100	45,00	0,08	-0,10	-0,180	APROVADO
		60,100	60,00	0,10	-0,10	-0,200	APROVADO
		75,250	75,00	0,12	-0,25	-0,370	APROVADO
2016 Escala 150 V	$\pm 0,75$ V	30,000	30,00	0,04	0,00	0,04	APROVADO
		60,000	60,00	0,08	0,00	0,08	APROVADO
		90,000	90,00	0,10	0,00	0,10	APROVADO
		120,300	120,00	0,20	-0,30	-0,50	APROVADO
		150,400	150,00	0,20	-0,40	-0,60	APROVADO
2016 Escala 75 V	$\pm 0,375$ V	15,080	15,00	0,05	-0,08	-0,13	APROVADO
		30,060	30,00	0,08	-0,06	-0,14	APROVADO
		45,120	45,00	0,08	-0,12	-0,20	APROVADO
		60,070	60,00	0,10	-0,07	-0,17	APROVADO
		75,080	75,00	0,12	-0,08	-0,20	APROVADO
2017 Escala 150 V	$\pm 0,75$ V	30,000	30,00	0,04	0,00	0,04	APROVADO
		60,010	60,00	0,08	-0,01	-0,09	APROVADO
		90,010	90,00	0,12	-0,01	-0,13	APROVADO
		120,200	120,00	0,20	-0,20	-0,40	APROVADO
		150,200	150,00	0,20	-0,20	-0,40	APROVADO
2017 Escala 75 V	$\pm 0,375$ V	15,090	15,00	0,05	-0,09	-0,14	APROVADO
		30,060	30,00	0,08	-0,06	-0,14	APROVADO
		45,110	45,00	0,08	-0,11	-0,19	APROVADO
		60,050	60,00	0,10	-0,05	-0,15	APROVADO
		75,070	75,00	0,12	-0,07	-0,19	APROVADO

## ANEXO B - Modelo de ficha individual do instrumento

<b>FICHA INDIVIDUAL DE INSTRUMENTO</b>			
Campos a serem preenchidos pelo usuário do instrumento.			
Descrição do instrumento:		Fábrica: <small>(Localização do instrumento)</small>	
Marca:	Modelo:	Nº de série:	
Faixa de indicação:	Tolerância requerida no processo:	Referência normativa:	
Faixa a calibrar: <small>(Faixa de trabalho do instrumento)</small>	Valor de uma divisão: <small>(cada faixa ou escala)</small>	Localização: <small>(Centro de custo)</small>	
Aplicação:			
Observações do usuário:			
Campos a serem preenchidos pela Engenharia de Produção ou coordenadores			
Critério de aceitação para o instrumento:			Frequência de calibração:
Exatidão: $V_{vc} \pm/ - E_r$ contiver $X_m \pm/ - U$		Adequação ao uso: $U \leq E_r$ ou $T_p/m$	
Múltiplo da precisão (m):	Tolerância do processo (Tp):	Exatidão requerida (Er):	
Observações da Engenharia de Produção:			
Campos a serem preenchidos pela Metrologia.			
Identificação do instrumento:			
Elaborado por:		Aprovado por:	
	Data:		Data:

Fonte: Organização em estudo, (2016)

## APÊNDICE

### APÊNDICE A - Artigo

**PARAMÉTRICA**

ISSN: 2238-3220

#### ENGENHARIA DA QUALIDADE NA AVALIAÇÃO DE MÉTODO PARA PERIODICIDADE DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS: estudo de caso

#### QUALITY ENGINEERING ON THE ASSESSMENT METHOD FOR THE EQUIPMENT CALIBRATION INTERVAL: case study

##### RESUMO

Na engenharia da qualidade, a metrologia tem o papel principal de prover credibilidade, exatidão e qualidade às medidas, e uma das ferramentas da metrologia utilizada para garantia desse papel principal é a calibração. A calibração de instrumentos de medição é uma atividade relevante no processo de fabricação, pois é indispensável para assegurar uma boa qualidade no produto, evitando seu retrabalho ou refugo. Os instrumentos estão sujeitos a influências externas, como fator humano e condições ambientais, que impactam na medição, fazendo-se necessário estabelecer a melhor periodicidade de calibração para manter a confiabilidade do processo de fabricação. O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para avaliação da periodicidade de calibração instrumentos, através da investigação em instrumentos selecionados para esta pesquisa. Para isso, foi realizado o mapeamento do processo de avaliação de periodicidade e uma análise dos resultados de calibração dos instrumentos em estudo. O estudo de caso foi o procedimento metodológico selecionado, por possibilitar uma aproximação direta com o fenômeno estudado com baixa disponibilidade bibliográfica na área da qualidade. Os principais resultados permitem concluir que, após a aplicação dos métodos definidos em literatura, preocupam-se apenas com o status da calibração (atributo). Por isso, houve a necessidade de proposição de um método que além da avaliação do histórico de calibração e o *status*, também considere a análise do resultado de erros totais dos pontos calibrados, dentro da faixa de tolerância do instrumento.

**Palavras-chave:** Qualidade, Metrologia, Calibração, Periodicidade.

##### ABSTRACT

The Metrology on the Quality Engineering has the main objective of proof confidence, accuracy and quality to the measurement and one of its tools to assure this target is the calibration. The calibration of the measurement equipment is an important activity in the manufacturing process once it is essential to assure the product quality and consequently avoiding reworks or scraps. The equipment are subject to external influences as the operator factor, environmental conditions and their own natural drift over time. In this way it is necessary to establish the best calibration interval to keep the manufacturing process reliable. The objective of this work is to propose a methodology to evaluate the equipment calibration interval, through the investigation in equipment selected for this research. To do that it was performed a mapping of the procedures to evaluate the interval and an assessment of the calibration results for the instruments under analysis. The case study was the selected methodological procedure, because it allows a direct approach with the studied phenomenon, and it has low bibliographical availability in the area of quality. The main results permit to conclude that the application of the methods established in the literatures care only about the calibration statuses (attribute). However, there was identified the need to propose a method that beyond the assessment of the calibration history and status consider also the analysis of the total errors found for the calibrated points within the equipment tolerance range.

**Keywords:** Quality. Metrology. Calibration. Periodicity.

##### Correspondência/Contato

Faculdade de Engenharia de Minas Gerais

FEAMIG

Rua Gastão Braulio dos Santos, 837

CEP 30510-120

Fone (31) 3372-3703

parametrica@feamig.br

<http://www.feamig.br/revista>

##### Editores responsáveis

Wilson José Vieira da Costa

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia da qualidade é um conjunto de atividades operacionais de gerenciamento e engenharia usados nas organizações para garantir que as características da qualidade de um produto ou serviço estejam na especificação exigida. Neste ponto, a engenharia da qualidade busca o equilíbrio para viabilizar o processo de produção do bem ou serviço e também atender as expectativas do cliente.

Entre os vários métodos e ferramentas contribuintes para a qualidade do produto, existe o sistema de metrologia. Metrologia é a ciência da medição que permite correlacionar as grandezas funcionais do produto com as especificações já pré-estabelecidas pelo cliente ou pela engenharia. Percebe-se então, que a calibração de instrumentos de medição é uma tarefa importante para os processos nas organizações, buscando sempre a confiabilidade do seu sistema de medição e a redução da variabilidade das operações continuamente.

Por isso, é válido lembrar que vários fatores podem influenciar na variabilidade das calibrações, como: fatores humanos, condições ambientais, equipamentos, manuseio de objetos e rastreabilidade de medição. E é neste cenário do sistema metrológico, que a periodicidade de calibração ganha destaque, pois se não determinada adequadamente, surgirão erros e incertezas nas medições, o que pode ter impacto na funcionalidade do produto ou até mesmo seu refugo, aumento dos custos agregado ao produto final, na qualidade do produto e a diminuição da confiabilidade do cliente final.

Mas o que acontece é que a periodicidade de calibração tem sido estabelecida por métodos informais ou práticos de estimação na maior parte das empresas, talvez até pela ausência da definição de intervalos adequados. O ajuste dos intervalos de calibração e sua revisão se fazem necessários depois que a calibração foi estabelecida como rotina, para aperfeiçoar o equilíbrio de riscos e custos, mas principalmente, prover confiabilidade, credibilidade, exatidão e qualidade às medidas. O ajuste na calibração dos instrumentos fomenta a produção de itens com qualidade, atuando no processo como condição fundamental para que as empresas atribuam aos seus produtos maior valor agregado e para que sejam cada vez mais competitivas no mercado.

Neste trabalho será abordado o histórico de calibração de instrumentos de uma empresa, com o objetivo de apresentar um possível método para estabelecer a periodicidade de calibração de instrumentos. Presume-se que o método a ser proposto contribuirá para uma maior confiabilidade dos equipamentos calibrados.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Engenharia da Qualidade e a Metrologia**

A engenharia da qualidade integra técnicas e métodos aplicados à qualidade e à estratégia para melhoria da produtividade. A Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO) (2017) estabelece a engenharia da qualidade como uma das áreas da engenharia da produção e a define como “planejamento, projeto e controle de sistemas de gestão da qualidade que considerem o gerenciamento por processos, a abordagem factual para a tomada de decisão e a utilização de ferramentas da qualidade.”

A engenharia da qualidade dispõe de uma série de ferramentas, que permite compilar informações precisas e capazes de retratar um diagnóstico mais eficaz na prevenção e detecção dos problemas nos processos produtivos ou serviço em análise. Esse aparato auxilia a empresa na tomada de decisão, tende a proporcionar o aumento da produtividade, minimizar as perdas e desperdícios, reduz refugo e retrabalho, utiliza melhor dos recursos disponíveis, o que por sua vez impacta positivamente os resultados da empresa, possibilitando maior competitividade no mercado, com produto final de qualidade.

E nesse contexto surge a metrologia, como uma das ferramentas da engenharia da qualidade que atua como sensor no processo, e acaba sendo utilizada para monitorar e controlar as variáveis e atributos do processo ou até mesmo de produtos.

A metrologia é a ciência da medição e:

abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou da tecnologia. Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), 2012, p. 23.

Atualmente a metrologia vem de encontro à qualidade, como ferramenta que ajuda a obter produtos e processos com garantia, afinal permiti conhecer uma característica de algo que se fala, pois medir e o expressa em números. Araújo (1995) confirma que a metrologia auxilia “o sistema de garantia da qualidade, dando suporte a todas as avaliações da qualidade dos produtos e dos processos, desde as fases de projeto e desenvolvimento, até a fase de rotina de produção.” Essas avaliações ocorrem mediante as medições ao longo do processo, e até nas etapas de inspeção, sendo necessário criar um sistema de medição.

## **2.2 Sistema de Medição**

Existe uma diferença entre instrumento de medição e sistema de medição. Esta diferenciação das terminologias se faz necessária, já que o foco do trabalho limita-se a instrumentos de medição. Albertazzi; Sousa (2008) defende o instrumento de medição sendo como “preferido para medidores pequenos, portáteis e encapsulados em uma única unidade” e o sistema de medição como uso genérico para “abranger desde medidores simples e compactos até os grandes e complexos”.

## **2.3 Processo de Calibração e Normas**

Uma das formas utilizadas mais completas para acompanhar o desempenho de um instrumento, é pelo procedimento denominado calibração, importantíssimo para determinar a confiabilidade da medição, que estabelece os erros e determina as incertezas de medição. Mas o que é calibração?

VIM (2012) define calibração sendo a:

[...] operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação. (VIM, 2012 p.27).

Portanto, a calibração é a comparação do resultado de um instrumento de medição a determinada grandeza com um padrão ou material padrão dentro de um ambiente controlado, a fim de definir seus erros e suas incertezas.

A calibração permite determinar os erros do instrumento e as correções a serem aplicadas quando necessário, além de detectar outras propriedades metrológicas, como grandezas de influência na medição ou comportamento metrológico dos instrumentos em condições ambientais adversas, por exemplo, temperatura elevada ou muito baixa, umidade relativa do ar, etc.

Por se tratar de um processo crítico, deve estabelecer as condições adequadas para que a calibração seja realizada com sucesso. Normalmente, adotam-se preocupações que circunda as condições ambientais, equipamento, mão de obra ou qualquer outra que possa interferir no processo, a fim de que sejam eliminadas ou reduzidas. Nesse sentido a ISO 10012:2004 estabelece que:

Requisitos metrológicos especificados são derivados de requisitos para o produto. Estes requisitos são necessários tanto para o equipamento de medição quanto para os processos de medição. Requisitos podem ser expressos como erro máximo permissível, incerteza permissível, faixa, estabilidade, resolução, condições ambientais ou habilidades do operador. (ISO 10012:2004, p. 2)

Outro ponto relevante é que através da calibração, os resultados da medição executadas devem estabelecer associação com as respectivas definições no Sistema Internacional de Unidade (SI), padrões nacionais ou internacionais ou credenciados. Esse requisito deve ser adotado para toda e qualquer calibração, pois é uma maneira para garantir a rastreabilidade, assegurando atendimento aos requisitos de desempenho.

As normas ISO 9001:2015 e ISO/IEC 17025: 2005, em ao menos um de seus requisitos, tratam exclusivamente dos recursos de monitoramento e medição, a fim de garantir que o empreendimento que a(s) adote(m) deve estabelecer e manter os recursos adequados, de modo a assegurar que resultados da monitorização e medição sejam válidos e confiáveis ao avaliar a conformidade dos produtos, processos e serviços.

A ISO 9001:2015 que dispõe em sua estrutura de boas práticas para assegurar a qualidade de todos os processos e produtos, trata dos recursos de monitoramento e medição no item 7.1.5; onde o subitem '7.1.5.1 Generalidades' descreve que:

A organização deve determinar e prover os recursos necessários para assegurar resultados válidos e confiáveis quando monitoramento ou medição for usado para verificar a conformidade de produtos e serviços com requisitos. (NBR ISO 9001:2015, pg 20)

A referida norma também estabelece que quando a rastreabilidade for um requisito para a organização, o instrumento de medição deve seguir algumas recomendações, como: ser calibrado e/ou verificado, em intervalos especificados, ou antes, do uso, empregando padrões de medição rastreáveis, possuir identificação quanto a situação de calibração e ser protegido contra ajustes, danos ou deterioração que invalidam o resultado da medição.

A NBR ISO/IEC 17025:2005, que regulamenta a acreditação de laboratórios de ensaios e de calibração, através de requisitos padronizados e reconhecidos internacionalmente. Relevante destacar que essa norma estabelece que todo equipamento utilizado em ensaios e/ou calibrações deve garantir a exatidão pretendida e atender as especificações determinadas, além de ser calibrado.

Há também fatores que influenciam na periodicidade de calibração, que dentre eles, destacam-se: tipo de instrumento, recomendação do fabricante, extensão e severidade das condições de utilização, tendência ao desgaste e à instabilidade, frequência de verificação cruzada contra outros equipamentos ou padrões, condições ambientais, onde os mesmos são utilizados, exatidão pretendida, frequência e formalidade da verificação interna das calibrações, consequências de um valor medido erroneamente e da aceitação da medida decorrentes de falhas na calibração do instrumento, entre outros.

## 2.4 Periodicidade e métodos para ajustar periodicidade de calibração

Periodicidade é o intervalo de tempo, prescrito ou antes do uso, que os instrumentos de medição são submetidos à confirmação metrológica. O objetivo dessa confirmação é melhorar a estimativa do desvio entre um valor de referência e o valor obtido pelo instrumento de medição e a incerteza neste desvio. Uma vez confirmada se houve ou não alguma alteração do instrumento de medição que poderia gerar dúvidas sobre os resultados já realizados anteriormente, deve-se evitar que seja utilizado quando estiver fora da faixa aceitável e assim produzir erros no resultado, mas principalmente, manter e assegurar a confiabilidade nas medições realizadas (PORTELA, 2003).

De modo geral, é perceptível que não é fácil estabelecer regras que determine os intervalos de calibração aplicáveis a todos, mas podem ser adotadas diretrizes sobre como os intervalos de calibração podem ser estabelecidos, considerando alguns fatores como: recomendação do fabricante, extensão e severidade de uso, influência do ambiente, exatidão pretendida pela medição e dados de tendências históricas, obtidos a partir de registros de calibração anteriores (THEISEN, 1997).

Uma vez que a calibração em uma rotina foi estabelecida, o ajuste dos intervalos de calibração e sua revisão se fazem necessários, a fim de aperfeiçoar o equilíbrio de riscos e custos. Além disso, o intervalo inicial determinado pela intuição técnica e um sistema que mantém intervalos fixos sem revisão, não são considerados suficientemente confiáveis, não sendo recomendado.

Com isso, ao longo dos anos, desenvolveram-se alguns métodos, que consistem em fórmulas, tabelas e instruções para manter, reduzir ou aumentar a periodicidade de calibração. Existe uma gama de métodos disponíveis para revisar os intervalos de calibração, nesta pesquisa serão descritos: método A1, método A2, método A3, método A, método de Schumacher e RP-1.

**Método A1:** a periodicidade das calibrações é ajustada levando em consideração a condição de conformidade do instrumento na calibração e o grau de confiabilidade de medição (PORTELA, 2003). Para o estabelecimento do ajuste, quando o grau de confiabilidade for estabelecido para ser de aproximadamente 95%, existem duas situações possíveis de conformidade:

- Situação A: Quando o instrumento é calibrado e os desvios apresentados estão dentro da tolerância especificada, o intervalo de calibração aumentará em 10%;
- Situação B: Os desvios apresentados estão fora da tolerância especificada, o intervalo de calibração será reduzido em 55 %.

**Método A2:** também é definido em função da conformidade do instrumento, porém o seu ajuste leva em consideração o quanto o resultado desviou em relação à tolerância do processo estabelecido (NOVASKI; FRANCO, 2000). O intervalo de calibração é ajustado de acordo com o fator, determinado em função do grau de especificação dos desvios.

**Método A3:** O novo intervalo de calibração será estabelecido após analisada a condição de conformidade da situação atual mais o das duas últimas calibrações (PORTELA, 2003). Através do estado da conformidade obtido com relação às tolerâncias estabelecidas, o dispositivo é classificado como dentro ou fora em função desses resultados, para tomar as seguintes ações: continuar, aumentar, reduzir ou reduzir drasticamente o período das calibrações, com os percentuais de 50%, 10% e 50%, respectivamente (DUNHAM; MACHADO, 2008).

**Método Schumacher:** nesse método os instrumentos serão classificados conforme o status de conformidade em que se encontram, levando em consideração o histórico do status, de duas ou três calibrações anteriores, que receberão a indicação conforme as letras: A (equipamento com avaria que impedia o seu funcionamento), F (equipamento funcionava, porém, fora das tolerâncias estabelecidas) e C (instrumento funcionava dentro das tolerâncias estabelecidas) (NOVASKI; FRANCO, 2000).

Posteriormente, com base na condição de recebimento do equipamento e no histórico das calibrações anteriores, uma decisão que deve ser tomada de: D: diminuir o intervalo em 10%, E: aumentar em 20%, P: incerteza na análise, portanto o intervalo não deve ser alterado, M: reduzir ao máximo possível em 35%; segundo Novaski; Franco (2000).

**Método RP-1:** este método parte do princípio de que se o equipamento apresenta um histórico de conformidade há uma maior tendência de que esta conformidade mantenha nas calibrações futuras. O novo intervalo será dado por:

$$NI = CI \cdot (W1 \times X + W2 \times Y + W3 \times Z)$$

Fonte: RP-1, 2010

Onde NI = novo intervalo, CI= o atual intervalo de calibração, W1, W2 e W3 os pesos, X = multiplicador referente ao resultado da última calibração, Y = multiplicador referente ao resultado da penúltima calibração e Z = multiplicador referente ao resultado da antepenúltima calibração.

Quadro 1 - Valores dos multiplicadores X, Y e Z – Método RP – 1

<b>Resultado da Calibração</b>	<b>Valor Atribuído</b>
Dentro da Tolerância	1
Fora da tolerância, não excedendo 1x a faixa	0,8
Fora da tolerância, não excedendo 2x a faixa	0,6
Fora da tolerância, não excedendo 4x a faixa	0,4
Fora da tolerância, excedendo 1x a faixa	0,3

Fonte: RP - 1: Establishment and Adjustment of Calibration Intervals, 2010

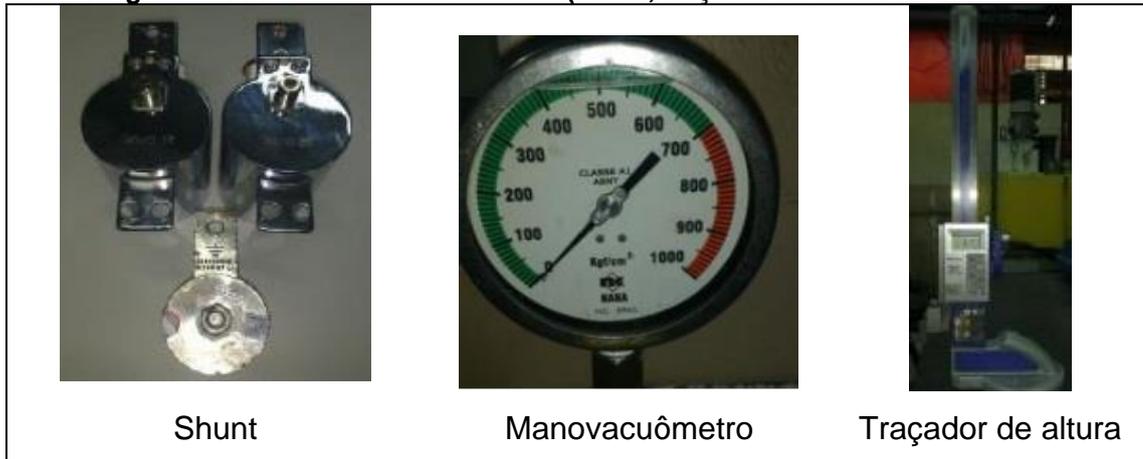
Para os multiplicadores X, Y e Z, o valor atribuído deve atender ao disposto no quadro 1. Os pesos atribuídos correspondem a 0.8, 0.3 e 0.2, respectivamente para W1, W2 e W3.

### 3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos do presente estudo são de natureza quali-quantitativa e, quanto aos seus fins, classificada como pesquisa exploratória, cuja aplicação tem por finalidade a elaboração de instrumentos adequados à realidade estudada.

O universo da pesquisa está diretamente relacionado ao histórico de calibração dos instrumentos de medição, envolvidos no processo de produção e sistema elétrico na empresa AA. As amostras estudadas foram determinadas como sendo as três últimas calibrações dos instrumentos apresentados na figura 01. Portanto, o universo da pesquisa contemplará 18 registros de calibrações de três instrumentos de medição escolhidos para o desenvolvimento da pesquisa e a amostra restrita a nove registros de calibrações destes instrumentos.

**Figura 3 - Imagem dos instrumentos analisados (shunt, traçador de altura e manovacuômetro)**



Fonte: arquivo da empresa, 2017.

A coleta de dados foi feita via análise documental por meio dos registros de calibração fornecidos pela empresa, no período de 2013 a 2017; além da aplicação de questionário à dois funcionários do setor de metrologia da empresa pesquisada.

Para compilação dos resultados foi usado o editor de planilhas Excel, voltado para elaboração de tabelas e gráficos que permitiram comparar os dados históricos e os resultados obtidos com a aplicação dos métodos propostos por Novaski; Franco (2000), Portela (2013) e a norma RP-1.

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1 Mapeamento do processo de avaliação de periodicidade de calibração de instrumentos**

Ao identificar a necessidade de medição em alguma etapa do processo produtivo, a inspeção final de um produto é definida com auxílio de especificações técnicas, análise crítica de processo, projetos, normas nacionais e internacionais, escolha do que será medido e qual instrumento se adapta melhor na especificação. Posteriormente, é providenciada a aquisição do instrumento de medição. Após passar pela inspeção de recebimento, o instrumento é enviado para a Metrologia que junto com a Engenharia define se o instrumento requer ou não calibração.

Se o instrumento recebido não demanda calibração é liberado para uso. Entretanto, se o instrumento necessita de calibração serão definidos, com auxílio do

manual do fabricante, normas nacionais e internacionais, especificação do cliente ou experiência do técnico, os parâmetros metrológicos para o instrumento: faixa a ser calibrada, periodicidade, exatidão requerida e pontos a calibrar. Todos estes dados deverão constar na ficha individual de instrumento e enviado para a área de metrologia.

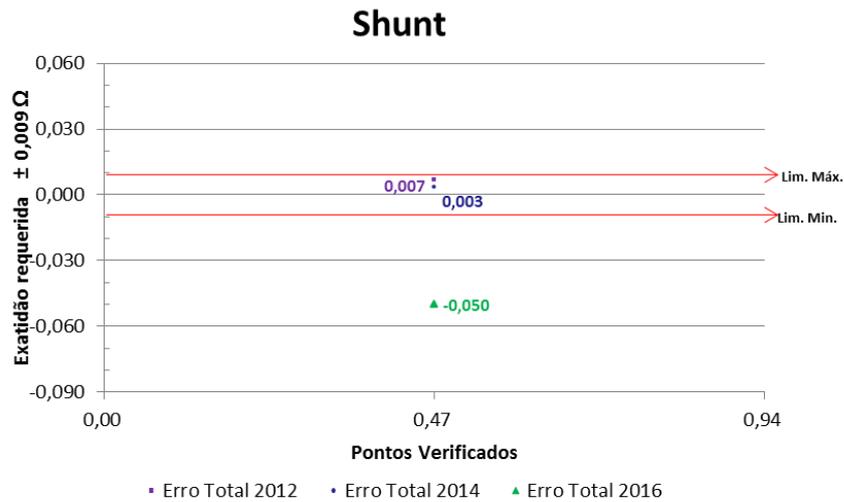
De posse de todos os parâmetros metrológicos, o instrumento deve ser calibrado internamente ou externamente. Qualquer que seja a calibração adotada, interna ou externa, será gerado o laudo de calibração com todos os erros e incertezas de medição, que serão analisados pela área de metrologia.

Caso os resultados do laudo não sejam satisfatórios, deve-se definir o motivo da não conformidade do instrumento e tentar sanar toda causa do problema. Persistindo os erros, o instrumento deverá ser devolvido ao fabricante. Porém, se os resultados forem satisfatórios, finaliza-se os registros aplicáveis e correlatos, o instrumento é cadastrado no sistema e identifica-se o status da calibração, os selos de proteção e integridade. Finalizada todas essas ações, o instrumento é disponibilizado para uso. Depois de ingressado no processo e no sistema, o instrumento passará por calibrações em intervalos constantes e determinados anteriormente.

#### **4.2 Identificação do histórico de calibração dos instrumentos em estudo**

O critério de aceitação de um dado instrumento utilizado no processo é determinado em função do erro total dos pontos calibrados que permanecem dentro do intervalo da exatidão requerida no processo em que está inserido. Diante disso, apresenta-se o histórico das três últimas calibrações dos instrumentos: Shunt, Traçador de Altura e manovacuômetro.

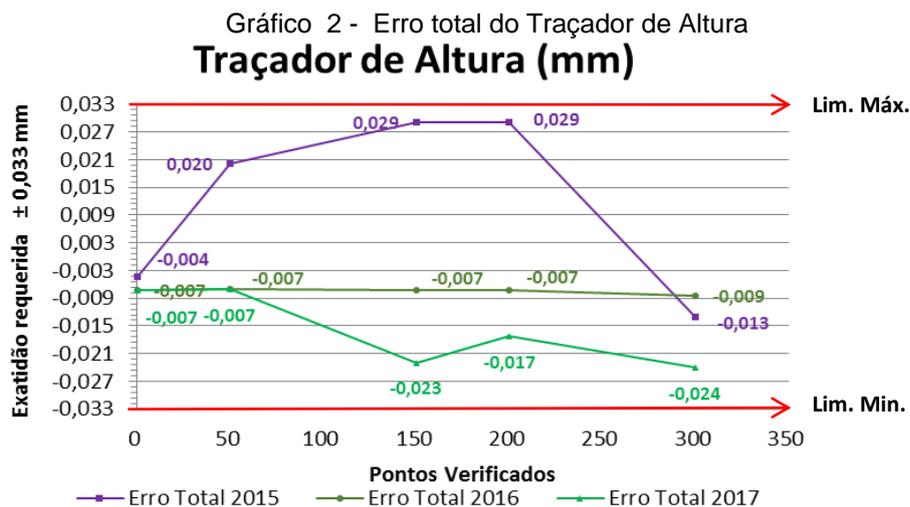
Gráfico 1 - Erro total Shunt



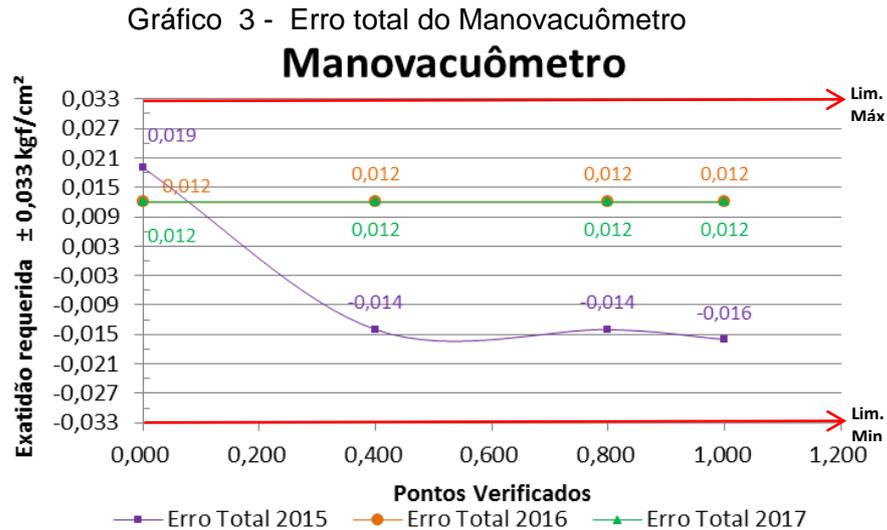
Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2017), a partir da tabulação dos dados.

Verifica-se pelo gráfico 1 que os valores de erro total nos anos de 2012 e 2014 dentro da exatidão requerida portanto aprovado, porém no ano de 2016 o instrumento foi reprovado, com o resultado de  $-0,050 \Omega$ .

No gráfico 2, referente ao traçador de altura, há uma dispersão significativa no valor do erro nos pontos verificados no ano de 2015: dois pontos calibrados apresentaram 87,9% de erro em cada ponto calibrado sob a faixa de exatidão.



Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2017), a partir da tabulação dos dados.



Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2017), a partir da tabulação dos dados

Já no gráfico 3, do instrumento manovacuômetro, os três históricos de calibração os valores mantiveram dentro da exatidão requerida, com uma pequena variação nos resultados no ano de 2015.

#### 4.3 Proposição de metodologia para avaliação da periodicidade de calibração dos instrumentos

Para a elaboração de uma proposta que determine o melhor período de calibração nos instrumentos foi realizado o levantamento do período atual de intervalo de calibração e seu histórico das últimas três calibrações, que estão apresentados no quadro 2:

**Quadro 2 – Histórico de calibração dos instrumentos**

Instrumento	Período atual	Status do instrumento calibrado		
		Antepenúltima	Penúltima	Última
Shunt	730	Aprovado	Aprovado	Reprovado
Traçador de Altura	365	Aprovado	Aprovado	Aprovado
Manovacuômetro	365	Aprovado	Aprovado	Aprovado

Fonte: elaborado pelos pesquisadores, 2018.

Aplicando os métodos sugeridos na literatura e apresentados anteriormente, o novo período que deveriam ser adotados para os instrumentos são os apresentados no quadro 3:

**Quadro 3 – Novo intervalo de calibração segundo os métodos da literatura**

<b>Instrumento</b>	<b>Período atual</b>	<b>Método A1</b>	<b>Método A2</b>	<b>Método A3</b>	<b>Método Schumacher</b>	<b>Método RP-1</b>
Shunt	730	329	579	730	657	540
Traçador de Altura	365	402	372	548	438	475
Manovacuômetro	365	402	372	548	438	475

Fonte: elaborado pelos pesquisadores, 2018.

É possível notar que na maior parte dos métodos, o shunt teve seu período de calibração reduzido por ter apresentado uma calibração reprovada. Para os demais instrumentos, um novo período foi determinado, com um intervalo maior do estabelecido anteriormente, uma vez que não foi identificada nenhuma variação fora do limite de tolerância em suas calibrações. Porém, nenhum dos métodos considera o quão próximo está o resultado do limite da faixa de tolerância e nem mesmo o quanto essa variação ocorre ao longo do tempo.

Ignorar a proximidade do resultado em relação ao limite da faixa especificada pode comprometer os resultados que o instrumento trará ao ser utilizado até a próxima calibração. Tal decisão no processo poderá apresentar erros na medição que tendem a desencadear impactos significativos no refugo de peças e produtos. Porém, em uma análise imediata e superficial, este erro no processo não seria atribuído ao instrumento de imediato, ao menos que o processo apresentasse controles eficazes após a utilização do instrumento.

Por isso, sugere-se a adoção do método que além da avaliação do status históricos de aprovado ou reprovado das três últimas calibrações, também considere a análise do resultado dentro da faixa de tolerância do instrumento nesse mesmo histórico. Assim, sugere-se que o novo intervalo de calibração seja estabelecido após análise da conformidade da situação atual e das duas últimas calibrações e os seus respectivos erros totais. Para os percentuais indicativos de aumento ou redução do período de calibração, manteve-se os sinalizados na metodologia de

Shcumacher. Sendo que se o instrumento apresentar as três últimas calibrações o status de aprovado (identificado como A), devem ser feitas as seguintes análises:

- Se os resultados dos pontos calibrados estiverem até 75 % dentro da faixa de tolerância o intervalo de calibração deve aumentar 20%;
- Se os resultados dos pontos calibrados estiverem entre 75 - 100 % dentro da faixa de tolerância o intervalo de calibração deverá ser mantido.

Porém, se o instrumento apresentar um ou mais status de reprovado (identificado como R), em quaisquer das três últimas calibrações a análise deve ser feita sob os seguintes pontos:

- Se os resultados dos pontos calibrados apresentarem desvios fora da especificação, com valores menores que duas vezes a especificação, deve-se diminuir o intervalo entre as calibrações em 10%;
- Se os resultados dos pontos calibrados apresentarem desvios fora das especificações, com valores maiores que duas vezes a especificação, deve-se reduzir o intervalo entre as calibrações em 35%.

Assim, com base na avaliação dos resultados, sugere-se que o manovacuômetro adote o intervalo de calibração de 438 dias, uma vez que seu status nas três últimas calibrações apresenta-se como aprovado e todos os pontos calibrados apresenta o erro total dentro de 75% da faixa de tolerância.

Já para o instrumento traçador de altura, o intervalo de calibração seria mantido, pois mesmo com o status de aprovado nas três últimas calibrações, o erro total de ao menos um ponto calibrado, quando analisados individualmente, apresenta-se entre 75 – 100% da faixa de tolerância.

O shunt teve seu período reduzido em 35%, uma vez que possui um status de reprovado dentre as três últimas calibrações consideradas e o erro total referente a essa reprovação está maior que duas vezes da faixa de tolerância.

## **5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para a garantia da confiabilidade das medições, é imprescindível o processo de calibração que, dentre outros fatores que o compõe, está o intervalo de calibração dos instrumentos. Este fator é estratégico para organização, visto que decisões importantes são tomadas, em função dos resultados das medições

realizadas. Devido a sua importância, o intervalo de calibração deve ser bem definido e revisado, preferencialmente, segundo os métodos bem embasados e sempre adequando a necessidade do processo.

Após a aplicação dos métodos definidos na literatura revisada e aplicados nessa pesquisa, foi possível verificar que esses se preocupam apenas com o status da calibração, ou seja, leva-se como informação para a tomada de decisão apenas o status de aprovado ou reprovado do instrumento. Por isso, houve a necessidade de proposição de um método que além da avaliação do histórico de calibração e o status, também considerasse a análise do resultado de erros totais dos pontos calibrados, dentro da faixa de tolerância do instrumento nesse mesmo histórico. A ação a ser tomada para aumento ou redução do período de calibração, considerando os percentuais definidos na metodologia de Shumacher.

O intervalo de calibração quando bem determinado estimula a prática da melhoria contínua, pois tende a contribuir para a redução da taxa de refugo ou retrabalho de produtos, desprender menores gastos com a manutenção corretivas dos instrumentos de medição, aumentar a disponibilidade do instrumento na fábrica, dentre outros. Vale destacar que a tomada de decisão quanto a adoção do intervalo de calibração do instrumento deve sempre priorizar a manter o nível de confiabilidade dos resultados sob margem de segurança e com a menor variabilidade possível de erro e incerteza.

Logo, os resultados da pesquisa puderam apresentar, a partir da análise dos dados de uma empresa específica, uma nova proposta proposição do método para avaliação do intervalo de calibração, com a limitação de atender às necessidades específicas da empresa selecionada para o estudo.

Como proposta para pesquisas futuras, propõe-se uma análise semelhante à realizada nesta pesquisa, a saber: a de indagação da periodicidade de calibração de instrumentos em processos onde os serviços metrológicos podem causar impactos significativos na produtividade.

## **REFERÊNCIAS**

ALBERTAZZI, Armando G. Jr.; SOUSA, André R. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. 1º ed. São Paulo: Ed. Manole, 2008.

Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. **Áreas da engenharia de produção**. 2017. Disponível em: < <https://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362>>. Acesso em: 09nov2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO/IEC 17025:2005**: Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de calibração e Ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 9001:2015** - Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. 2ª. Edição, Rio de Janeiro, 2015.

ARAÚJO, Elinaldo B. de. **A organização da função Garantia da Qualidade e o papel da Metrologia**. Florianópolis: UFSC, 1995. Dissertação de Mestrado.

DUNHAM, Paulo Cezar C. L.; MACHADO, Marcio. **Método de alteração de intervalos entre calibrações**. São Paulo: Rede Metrológica de São Paulo - ENQUALAB-2008, 2008.

NATIONAL CONFERENCE OF STANDARDS LABORATORIES –NCSL. **Recommended Practice – 1 - RP-1**: Establishment and Adjustment of Calibration Intervals. 2010.

NOVASKI, Olívio; FRANCO, Samuel Mendes. **Comparação entre métodos para estabelecimento e ajuste de intervalos de calibração**. Sociedade Brasileira de Metrologia. Metrologia 2000 – São Paulo.

PORTELA, Willian. **Ajuste da Frequência de Calibração de Instrumentos de Processo** – Foco na Indústria Farmacêutica. In Metrologia, v I. Recife: Metrologia para a Vida, 2003.

THEISEN, Álvaro Medeiros de Farias. **Fundamentos da metrologia industrial: aplicação no processo de certificação ISO 9000**. Porto Alegre: Suliani, 1997, 205p.

**Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia**: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados - VIM 2012. 1ª. ed. - Rio de Janeiro: Ed. INMETRO, 2012.

APÊNDICE B: Questionário para o mapeamento do processo

**Formulário de Pesquisa**

Nome:

Função:

Tempo na função:

Data

Como é gerada a necessidade de aquisição de instrumento de medição para o processo produtivo?

---

---

---

---

---

---

Quem é responsável por identificar a necessidade?

---

---

Como se dá a aquisição do instrumento?

---

---

---

---

Como é feita a análise se o instrumento requer ou não a calibração? Quem realiza essa atividade?

---

---

---

---

Se a questão anterior foi afirmativa, como são definidos os parâmetros e especificações do instrumento? Quem executa essa atividade?

---

---

---

---

---

---

Há formulário específico para o registro dos dados levantados? Se sim, quem o preenche.

---

---

---

---

O período de calibração é revisado ao longo do processo de aquisição?

---

---

---

As pessoas envolvidas desde o processo de identificação, aquisição do instrumento e definição dos parâmetros e especificações do instrumento, são capacitadas? Favor descrever o cargo/função. Se houver treinamentos específicos, ainda que interno, gentileza descrever.

---

---

---

---

---

---

---

**QUALITY ENGINEERING ON THE ASSESSMENT METHOD FOR THE EQUIPMENT CALIBRATION INTERVAL: case study****RESUMO**

Na engenharia da qualidade, a metrologia tem o papel principal de prover credibilidade, exatidão e qualidade às medidas, e uma das ferramentas da metrologia utilizada para garantir esse papel principal é a calibração. A calibração de instrumentos de medição é uma atividade relevante no processo de fabricação, pois é indispensável para assegurar uma boa qualidade no produto, evitando seu retrabalho ou refugo. Os instrumentos estão sujeitos a influências externas, como fator humano e condições ambientais, que impactam na medição, fazendo-se necessário estabelecer a melhor periodicidade de calibração para manter a confiabilidade do processo de fabricação. O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para avaliação da periodicidade de calibração instrumentos, através da investigação em instrumentos selecionados para esta pesquisa. Para isso, foi realizado o mapeamento do processo de avaliação de periodicidade e uma análise dos resultados de calibração dos instrumentos em estudo. O estudo de caso foi o procedimento metodológico selecionado, por possibilitar uma aproximação direta com o fenômeno estudado com baixa disponibilidade bibliográfica na área da qualidade. Os principais resultados permitem concluir que, após a aplicação dos métodos definidos em literatura, preocupam-se apenas com o status da calibração (atributo). Por isso, houve a necessidade de proposição de um método que além da avaliação do histórico de calibração e o *status*, também considere a análise do resultado de erros totais dos pontos calibrados, dentro da faixa de tolerância do instrumento.

**Palavras-chave:** Qualidade, Metrologia, Calibração, Periodicidade.

**ABSTRACT**

The Metrology on the Quality Engineering has the main objective of proof confidence, accuracy and quality to the measurement and one of its tools to assure this target is the calibration. The calibration of the measurement equipment is an important activity in the manufacturing process once it is essential to assure the product quality and consequently avoiding reworks or scraps. The equipment are subject to external influences as the operator factor, environmental conditions and their own natural drift over time. In this way it is necessary to establish the best calibration interval to keep the manufacturing process reliable. The objective of this work is to propose a methodology to evaluate the equipment calibration interval, through the investigation in equipment selected for this research. To do that it was performed a mapping of the procedures to evaluate the interval and an assessment of the calibration results for the instruments under analysis. The case study was the selected methodological procedure, because it allows a direct approach with the studied phenomenon, and it has low bibliographical availability in the area of quality. The main results permit to conclude that the application of the methods established in the literatures care only about the calibration statuses (attribute). However, there was identified the need to propose a method that beyond the assessment of the calibration history and status consider also the analysis of the total errors found for the calibrated points within the equipment tolerance range.

**Keywords:** Quality. Metrology. Calibration. Periodicity.

**Correspondência/Contato**

Faculdade de Engenharia de Minas Gerais

FEAMIG

Rua Gastão Braulio dos Santos, 837

CEP 30510-120

Fone (31) 3372-3703

parametrica@feamig.br

<http://www.feamig.br/revista>

**Editores responsáveis**

Wilson José Vieira da Costa

[wilsoncosta@feamig.br](mailto:wilsoncosta@feamig.br)

Raquel Ferreira de Souza

[raquel.ferreira@feamig.br](mailto:raquel.ferreira@feamig.br)

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia da qualidade é um conjunto de atividades operacionais de gerenciamento e engenharia usados nas organizações para garantir que as características da qualidade de um produto ou serviço estejam na especificação exigida. Neste ponto, a engenharia da qualidade busca o equilíbrio para viabilizar o processo de produção do bem ou serviço e também atender as expectativas do cliente.

Entre os vários métodos e ferramentas contribuintes para a qualidade do produto, existe o sistema de metrologia. Metrologia é a ciência da medição que permite correlacionar as grandezas funcionais do produto com as especificações já pré-estabelecidas pelo cliente ou pela engenharia. Percebe-se então, que a calibração de instrumentos de medição é uma tarefa importante para os processos nas organizações, buscando sempre a confiabilidade do seu sistema de medição e a redução da variabilidade das operações continuamente.

Por isso, é válido lembrar que vários fatores podem influenciar na variabilidade das calibrações, como: fatores humanos, condições ambientais, equipamentos, manuseio de objetos e rastreabilidade de medição. E é neste cenário do sistema metrológico, que a periodicidade de calibração ganha destaque, pois se não determinada adequadamente, surgirão erros e incertezas nas medições, o que pode ter impacto na funcionalidade do produto ou até mesmo seu refugo, aumento dos custos agregado ao produto final, na qualidade do produto e a diminuição da confiabilidade do cliente final.

Mas o que acontece é que a periodicidade de calibração tem sido estabelecida por métodos informais ou práticos de estimação na maior parte das empresas, talvez até pela ausência da definição de intervalos adequados. O ajuste dos intervalos de calibração e sua revisão se fazem necessários depois que a calibração foi estabelecida como rotina, para aperfeiçoar o equilíbrio de riscos e custos, mas principalmente, prover confiabilidade, credibilidade, exatidão e qualidade às medidas. O ajuste na calibração dos instrumentos fomenta a produção de itens com qualidade, atuando no processo como condição fundamental para que as empresas atribuam aos seus produtos maior valor agregado e para que sejam cada vez mais competitivas no mercado.

Neste trabalho será abordado o histórico de calibração de instrumentos de uma empresa, com o objetivo de apresentar um possível método para estabelecer a periodicidade de calibração de instrumentos. Presume-se que o método a ser proposto contribuirá para uma maior confiabilidade dos equipamentos calibrados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Engenharia da Qualidade e a Metrologia

A engenharia da qualidade integra técnicas e métodos aplicados à qualidade e à estratégia para melhoria da produtividade. A Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO) (2017) estabelece a engenharia da qualidade como uma das áreas da engenharia da produção e a define como “planejamento, projeto e controle de sistemas de gestão da qualidade que considerem o gerenciamento por processos, a abordagem factual para a tomada de decisão e a utilização de ferramentas da qualidade.”

A engenharia da qualidade dispõe de uma série de ferramentas, que permite compilar informações precisas e capazes de retratar um diagnóstico mais eficaz na prevenção e detecção dos problemas nos processos produtivos ou serviço em análise. Esse aparato auxilia a empresa na tomada de decisão, tende a proporcionar o aumento da produtividade, minimizar as perdas e desperdícios, reduz refugo e retrabalho, utiliza melhor dos recursos disponíveis, o que por sua vez impacta positivamente os resultados da empresa, possibilitando maior competitividade no mercado, com produto final de qualidade.

E nesse contexto surge a metrologia, como uma das ferramentas da engenharia da qualidade que atua como sensor no processo, e acaba sendo utilizada para monitorar e controlar as variáveis e atributos do processo ou até mesmo de produtos.

A metrologia é a ciência da medição e:

abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou da tecnologia. Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), 2012, p. 23.

Atualmente a metrologia vem de encontro à qualidade, como ferramenta que ajuda a obter produtos e processos com garantia, afinal permiti conhecer uma característica de algo que se fala, pois medir e o expressa em números. Araújo (1995) confirma que a metrologia auxilia “o sistema de garantia da qualidade, dando suporte a todas as avaliações da qualidade dos produtos e dos processos, desde as fases de projeto e desenvolvimento, até a fase de rotina de produção.” Essas avaliações ocorrem mediante as medições ao longo do processo, e até nas etapas de inspeção, sendo necessário criar um sistema de medição.

## 2.2 Sistema de Medição

Existe uma diferença entre instrumento de medição e sistema de medição. Esta diferenciação das terminologias se faz necessária, já que o foco do trabalho limita-se a instrumentos de medição. Albertazzi; Sousa (2008) defende o instrumento de medição sendo como “preferido para medidores pequenos, portáteis e encapsulados em uma única unidade” e o sistema de medição como uso genérico para “abranger desde medidores simples e compactos até os grandes e complexos”.

## 2.3 Processo de Calibração e Normas

Uma das formas utilizadas mais completas para acompanhar o desempenho de um instrumento, é pelo procedimento denominado calibração, importantíssimo para determinar a confiabilidade da medição, que estabelece os erros e determina as incertezas de medição. Mas o que é calibração?

VIM (2012) define calibração sendo a:

[...] operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação. (VIM, 2012 p.27).

Portanto, a calibração é a comparação do resultado de um instrumento de medição a determinada grandeza com um padrão ou material padrão dentro de um ambiente controlado, a fim de definir seus erros e suas incertezas.

A calibração permite determinar os erros do instrumento e as correções a serem aplicadas quando necessário, além de detectar outras propriedades metrológicas, como grandezas de influência na medição ou comportamento metrológico dos instrumentos em condições ambientais adversas, por exemplo, temperatura elevada ou muito baixa, umidade relativa do ar, etc.

Por se tratar de um processo crítico, deve estabelecer as condições adequadas para que a calibração seja realizada com sucesso. Normalmente, adotam-se preocupações que circunda as condições ambientais, equipamento, mão de obra ou qualquer outra que possa interferir no processo, a fim de que sejam eliminadas ou reduzidas. Nesse sentido a ISO 10012:2004 estabelece que:

Requisitos metrológicos especificados são derivados de requisitos para o produto. Estes requisitos são necessários tanto para o equipamento de medição quanto para os processos de medição. Requisitos podem ser expressos como erro máximo permissível, incerteza permissível, faixa, estabilidade, resolução, condições ambientais ou habilidades do operador. (ISO 10012:2004, p. 2)

Outro ponto relevante é que através da calibração, os resultados da medição executadas devem estabelecer associação com as respectivas definições no Sistema Internacional de Unidade (SI), padrões nacionais ou internacionais ou credenciados. Esse requisito deve ser adotado para toda e qualquer calibração, pois é uma maneira para garantir a rastreabilidade, assegurando atendimento aos requisitos de desempenho.

As normas ISO 9001:2015 e ISO/IEC 17025: 2005, em ao menos um de seus requisitos, tratam exclusivamente dos recursos de monitoramento e medição, a fim de garantir que o empreendimento que a(s) adote(m) deve estabelecer e manter os recursos adequados, de modo a assegurar que resultados da monitorização e medição sejam válidos e confiáveis ao avaliar a conformidade dos produtos, processos e serviços.

A ISO 9001:2015 que dispõe em sua estrutura de boas práticas para assegurar a qualidade de todos os processos e produtos, trata dos recursos de monitoramento e medição no item 7.1.5; onde o subitem '7.1.5.1 Generalidades' descreve que:

A organização deve determinar e prover os recursos necessários para assegurar resultados válidos e confiáveis quando monitoramento ou medição for usado para verificar a conformidade de produtos e serviços com requisitos. (NBR ISO 9001:2015, pg 20)

A referida norma também estabelece que quando a rastreabilidade for um requisito para a organização, o instrumento de medição deve seguir algumas recomendações, como: ser calibrado e/ou verificado, em intervalos especificados, ou antes, do uso, empregando padrões de medição rastreáveis, possuir identificação quanto a situação de calibração e ser protegido contra ajustes, danos ou deterioração que invalidam o resultado da medição.

A NBR ISO/IEC 17025:2005, que regulamenta a acreditação de laboratórios de ensaios e de calibração, através de requisitos padronizados e reconhecidos internacionalmente. Relevante destacar que essa norma estabelece que todo equipamento utilizado em ensaios e/ou calibrações deve garantir a exatidão pretendida e atender as especificações determinadas, além de ser calibrado.

Há também fatores que influenciam na periodicidade de calibração, que dentre eles, destacam-se: tipo de instrumento, recomendação do fabricante, extensão e severidade das condições de utilização, tendência ao desgaste e à instabilidade, frequência de verificação cruzada contra outros equipamentos ou padrões, condições ambientais, onde os mesmos são utilizados, exatidão pretendida, frequência e formalidade da verificação interna das calibrações, consequências de um valor medido erroneamente e da aceitação da medida decorrentes de falhas na calibração do instrumento, entre outros.

## **2.4 Periodicidade e métodos para ajustar periodicidade de calibração**

Periodicidade é o intervalo de tempo, prescrito ou antes do uso, que os instrumentos de medição são submetidos à confirmação metrológica. O objetivo dessa confirmação é melhorar a estimativa do desvio entre um valor de referência e o valor obtido pelo instrumento de medição e a incerteza neste desvio. Uma vez confirmada se houve ou não alguma alteração do instrumento de medição que poderia gerar dúvidas sobre os resultados já realizados anteriormente, deve-se evitar que seja utilizado quando estiver fora da faixa aceitável e assim produzir erros no resultado, mas principalmente, manter e assegurar a confiabilidade nas medições realizadas (PORTELA, 2003).

De modo geral, é perceptível que não é fácil estabelecer regras que determine os intervalos de calibração aplicáveis a todos, mas podem ser adotadas diretrizes sobre como os intervalos de calibração podem ser estabelecidos, considerando alguns fatores como: recomendação do fabricante, extensão e severidade de uso, influência do ambiente, exatidão pretendida pela medição e dados de tendências históricas, obtidos a partir de registros de calibração anteriores (THEISEN, 1997).

Uma vez que a calibração em uma rotina foi estabelecida, o ajuste dos intervalos de calibração e sua revisão se fazem necessários, a fim de aperfeiçoar o equilíbrio de riscos e custos. Além disso, o intervalo inicial determinado pela intuição técnica e um sistema que mantém intervalos fixos sem revisão, não são considerados suficientemente confiáveis, não sendo recomendado.

Com isso, ao longo dos anos, desenvolveram-se alguns métodos, que consistem em fórmulas, tabelas e instruções para manter, reduzir ou aumentar a periodicidade de calibração. Existe uma gama de métodos disponíveis para revisar os intervalos de calibração, nesta pesquisa serão descritos: método A1, método A2, método A3, método A, método de Schumacher e RP-1.

**Método A1:** a periodicidade das calibrações é ajustada levando em consideração a condição de conformidade do instrumento na calibração e o grau de confiabilidade de medição (PORTELA, 2003). Para o estabelecimento do ajuste, quando o grau de confiabilidade for estabelecido para ser de aproximadamente 95%, existem duas situações possíveis de conformidade:

- Situação A: Quando o instrumento é calibrado e os desvios apresentados estão dentro da tolerância especificada, o intervalo de calibração aumentará em 10%;
- Situação B: Os desvios apresentados estão fora da tolerância especificada, o intervalo de calibração será reduzido em 55 %.

**Método A2:** também é definido em função da conformidade do instrumento, porém o seu ajuste leva em consideração o quanto o resultado desviou em relação à tolerância do processo estabelecido (NOVASKI; FRANCO, 2000). O intervalo de calibração é ajustado de acordo com o fator, determinado em função do grau de especificação dos desvios.

**Método A3:** O novo intervalo de calibração será estabelecido após analisada a condição de conformidade da situação atual mais o das duas últimas calibrações (PORTELA, 2003). Através do estado da conformidade obtido com relação às tolerâncias estabelecidas, o dispositivo é classificado como dentro ou fora em função desses resultados, para tomar as seguintes ações: continuar, aumentar, reduzir ou reduzir drasticamente o período das calibrações, com os percentuais de 50%, 10% e 50%, respectivamente (DUNHAM; MACHADO,2008).

**Método Schumacher:** nesse método os instrumentos serão classificados conforme o status de conformidade em que se encontram, levando em consideração o histórico do status, de duas ou três calibrações anteriores, que receberão a indicação conforme as letras: A (equipamento com avaria que impedia o seu funcionamento), F (equipamento funcionava, porém, fora das tolerâncias estabelecidas) e C (instrumento funcionava dentro das tolerâncias estabelecidas) (NOVASKI; FRANCO, 2000).

Posteriormente, com base na condição de recebimento do equipamento e no histórico das calibrações anteriores, uma decisão que deve ser tomada de: D: diminuir o intervalo em 10%, E: aumentar em 20%, P: incerteza na análise, portanto o intervalo não deve ser alterado, M: reduzir ao máximo possível em 35%; segundo Novaski; Franco (2000).

**Método RP-1:** este método parte do princípio de que se o equipamento apresenta um histórico de conformidade há uma maior tendência de que esta conformidade mantenha nas calibrações futuras. O novo intervalo será dado por:

$$NI = CI \cdot (W1 \cdot X + W2 \cdot Y + W3 \cdot Z)$$

Fonte: RP-1, 2010

Onde NI = novo intervalo, CI= o atual intervalo de calibração, W1, W2 e W3 os pesos, X = multiplicador referente ao resultado da última calibração, Y = multiplicador referente ao resultado da penúltima calibração e Z = multiplicador referente ao resultado da antepenúltima calibração.

Quadro 1 - Valores dos multiplicadores X, Y e Z – Método RP – 1

Resultado da Calibração	Valor Atribuído
Dentro da Tolerância	1
Fora da tolerância, não excedendo 1x a faixa	0,8
Fora da tolerância, não excedendo 2x a faixa	0,6
Fora da tolerância, não excedendo 4x a faixa	0,4
Fora da tolerância, excedendo 1x a faixa	0,3

Fonte: RP - 1: Establishment and Adjustment of Calibration Intervals, 2010

Para os multiplicadores X, Y e Z, o valor atribuído deve atender ao disposto no quadro 1. Os pesos atribuídos correspondem a 0.8, 0.3 e 0.2, respectivamente para W1, W2 e W3.

### 3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos do presente estudo são de natureza quali-quantitativa e, quanto aos seus fins, classificada como pesquisa exploratória, cuja aplicação tem por finalidade a elaboração de instrumentos adequados à realidade estudada.

O universo da pesquisa está diretamente relacionado ao histórico de calibração dos instrumentos de medição, envolvidos no processo de produção e sistema elétrico na empresa AA. As amostras estudadas foram determinadas como sendo as três últimas calibrações dos instrumentos apresentados na figura 01. Portanto, o universo da pesquisa contemplará 18 registros de calibrações de três instrumentos de medição escolhidos para o desenvolvimento da pesquisa e a amostra restrita a nove registros de calibrações destes instrumentos.

Figura 1 - Imagem dos instrumentos analisados (shunt, traçador de altura e manovacuômetro)



Shunt

Manovacômetro

Traçador de altura

Fonte: arquivo da empresa, 2017.

A coleta de dados foi feita via análise documental por meio dos registros de calibração fornecidos pela empresa, no período de 2013 a 2017; além da aplicação de questionário à dois funcionários do setor de metrologia da empresa pesquisada.

Para compilação dos resultados foi usado o editor de planilhas Excel, voltado para elaboração de tabelas e gráficos que permitiram comparar os dados históricos e os resultados obtidos com a aplicação dos métodos propostos por Novaski; Franco (2000), Portela (2013) e a norma RP-1.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Mapeamento do processo de avaliação de periodicidade de calibração de instrumentos

Ao identificar a necessidade de medição em alguma etapa do processo produtivo, a inspeção final de um produto é definida com auxílio de especificações técnicas, análise crítica de processo, projetos, normas nacionais e internacionais, escolha do que será medido e qual instrumento se adapta melhor na especificação. Posteriormente, é providenciada a aquisição do instrumento de medição. Após passar pela inspeção de recebimento, o instrumento é enviado para a Metrologia que junto com a Engenharia define se o instrumento requer ou não calibração.

Se o instrumento recebido não demanda calibração é liberado para uso. Entretanto, se o instrumento necessita de calibração serão definidos, com auxílio do manual do fabricante, normas nacionais e internacionais, especificação do cliente ou experiência do técnico, os parâmetros metrológicos para o instrumento: faixa a ser calibrada, periodicidade,

exatidão requerida e pontos a calibrar. Todos estes dados deverão constar na ficha individual de instrumento e enviado para a área de metrologia.

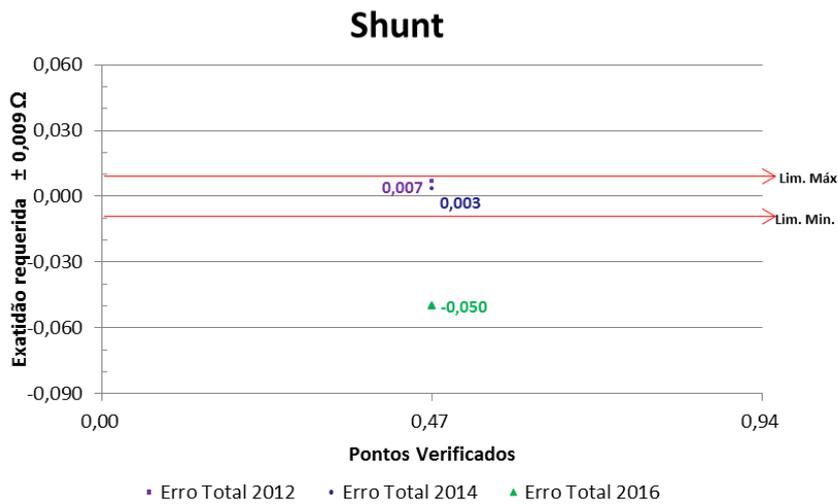
De posse de todos os parâmetros metrológicos, o instrumento deve ser calibrado internamente ou externamente. Qualquer que seja a calibração adotada, interna ou externa, será gerado o laudo de calibração com todos os erros e incertezas de medição, que serão analisados pela área de metrologia.

Caso os resultados do laudo não sejam satisfatórios, deve-se definir o motivo da não conformidade do instrumento e tentar sanar toda causa do problema. Persistindo os erros, o instrumento deverá ser devolvido ao fabricante. Porém, se os resultados forem satisfatórios, finaliza-se os registros aplicáveis e correlatos, o instrumento é cadastrado no sistema e identifica-se o status da calibração, os selos de proteção e integridade. Finalizada todas essas ações, o instrumento é disponibilizado para uso. Depois de ingressado no processo e no sistema, o instrumento passará por calibrações em intervalos constantes e determinados anteriormente.

#### **4.2 Identificação do histórico de calibração dos instrumentos em estudo**

O critério de aceitação de um dado instrumento utilizado no processo é determinado em função do erro total dos pontos calibrados que permanecem dentro do intervalo da exatidão requerida no processo em que está inserido. Diante disso, apresenta-se o histórico das três últimas calibrações dos instrumentos: Shunt, Traçador de Altura e manovacuômetro.

Gráfico 1 - Erro total Shunt

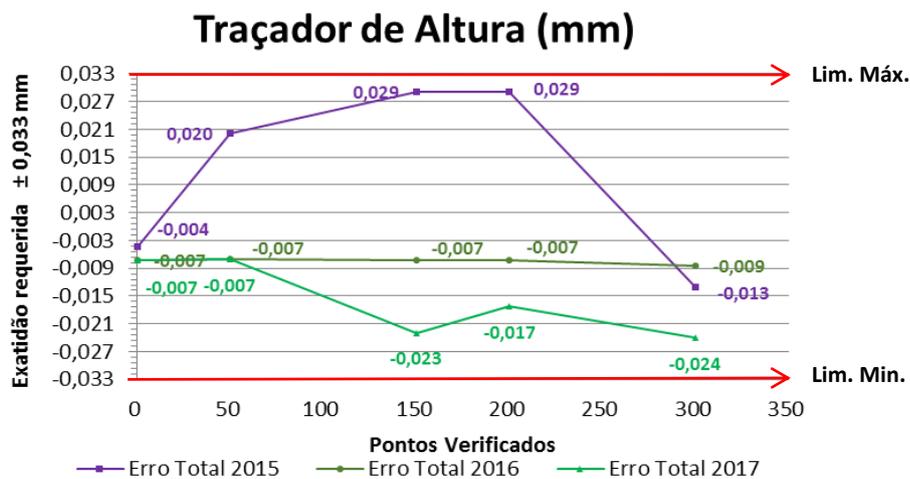


Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2017), a partir da tabulação dos dados.

Verifica-se pelo gráfico 1 que os valores de erro total nos anos de 2012 e 2014 dentro da exatidão requerida portanto aprovado, porém no ano de 2016 o instrumento foi reprovado, com o resultado de -0,050 Ω.

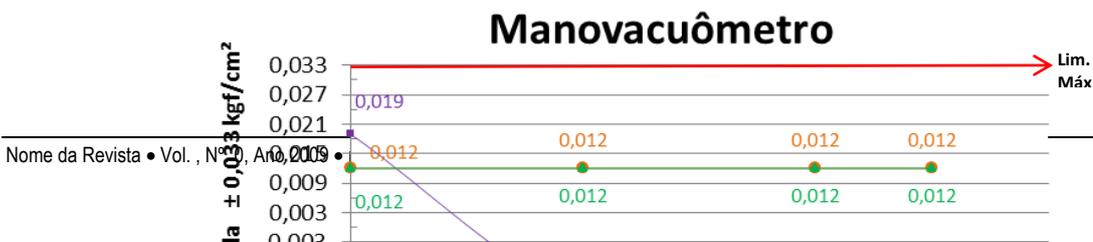
No gráfico 2, referente ao traçador de altura, há uma dispersão significativa no valor do erro nos pontos verificados no ano de 2015: dois pontos calibrados apresentaram 87,9% de erro em cada ponto calibrado sob a faixa de exatidão.

Gráfico 2 - Erro total do Traçador de Altura



Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2017), a partir da tabulação dos dados.

Gráfico 3 - Erro total do Manovacuômetro



Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2017), a partir da tabulação dos dados

Já no gráfico 3, do instrumento manovacuômetro, os três históricos de calibração os valores mantiveram dentro da exatidão requerida, com uma pequena variação nos resultados no ano de 2015.

#### 4.3 Proposição de metodologia para avaliação da periodicidade de calibração dos instrumentos

Para a elaboração de uma proposta que determine o melhor período de calibração nos instrumentos foi realizado o levantamento do período atual de intervalo de calibração e seu histórico das últimas três calibrações, que estão apresentados no quadro 2:

**Quadro 2 – Histórico de calibração dos instrumentos**

Instrumento	Período atual	Status do instrumento calibrado		
		Antepenúltima	Penúltima	Última
Shunt	730	Aprovado	Aprovado	Reprovado
Traçador de Altura	365	Aprovado	Aprovado	Aprovado
Manovacuômetro	365	Aprovado	Aprovado	Aprovado

Fonte: elaborado pelos pesquisadores, 2018.

Aplicando os métodos sugeridos na literatura e apresentados anteriormente, o novo período que deveriam ser adotados para os instrumentos são os apresentados no quadro 3:

**Quadro 3 – Novo intervalo de calibração segundo os métodos da literatura**

Instrumento	Período atual	Método A1	Método A2	Método A3	Método Schumacher	Método RP-1
Shunt	730	329	579	730	657	540
Traçador de Altura	365	402	372	548	438	475
Manovacuômetro	365	402	372	548	438	475

Fonte: elaborado pelos pesquisadores, 2018.

É possível notar que na maior parte dos métodos, o shunt teve seu período de calibração reduzido por ter apresentado uma calibração reprovada. Para os demais instrumentos, um novo período foi determinado, com um intervalo maior do estabelecido anteriormente, uma vez que não foi identificada nenhuma variação fora do limite de tolerância em suas calibrações. Porém, nenhum dos métodos considera o quão próximo está o resultado do limite da faixa de tolerância e nem mesmo o quanto essa variação ocorre ao longo do tempo.

Ignorar a proximidade do resultado em relação ao limite da faixa especificada pode comprometer os resultados que o instrumento trará ao ser utilizado até a próxima calibração. Tal decisão no processo poderá apresentar erros na medição que tendem a desencadear impactos significativos no refugo de peças e produtos. Porém, em uma análise imediata e superficial, este erro no processo não seria atribuído ao instrumento de imediato, ao menos que o processo apresentasse controles eficazes após a utilização do instrumento.

Por isso, sugere-se a adoção do método que além da avaliação do status históricos de aprovado ou reprovado das três últimas calibrações, também considere a análise do resultado dentro da faixa de tolerância do instrumento nesse mesmo histórico. Assim, sugere-se que o novo intervalo de calibração seja estabelecido após análise da conformidade da situação atual e das duas últimas calibrações e os seus respectivos erros totais. Para os percentuais indicativos de aumento ou redução do período de calibração, manteve-se os sinalizados na metodologia de Shcumacher. Sendo que se o instrumento apresentar as três últimas calibrações o status de aprovado (identificado como A), devem ser feitas as seguintes análises:

- Se os resultados dos pontos calibrados estiverem até 75 % dentro da faixa de tolerância o intervalo de calibração deve aumentar 20%;
- Se os resultados dos pontos calibrados estiverem entre 75 - 100 % dentro da faixa de tolerância o intervalo de calibração deverá ser mantido.

Porém, se o instrumento apresentar um ou mais status de reprovado (identificado como R), em quaisquer das três últimas calibrações a análise deve ser feita sob os seguintes pontos:

- Se os resultados dos pontos calibrados apresentarem desvios fora da especificação, com valores menores que duas vezes a especificação, deve-se diminuir o intervalo entre as calibrações em 10%;

- Se os resultados dos pontos calibrados apresentarem desvios fora das especificações, com valores maiores que duas vezes a especificação, deve-se reduzir o intervalo entre as calibrações em 35%.

Assim, com base na avaliação dos resultados, sugere-se que o manovacuômetro adote o intervalo de calibração de 438 dias, uma vez que seu status nas três últimas calibrações apresenta-se como aprovado e todos os pontos calibrados apresenta o erro total dentro de 75% da faixa de tolerância.

Já para o instrumento traçador de altura, o intervalo de calibração seria mantido, pois mesmo com o status de aprovado nas três últimas calibrações, o erro total de ao menos um ponto calibrado, quando analisados individualmente, apresenta-se entre 75 – 100% da faixa de tolerância.

O shunt teve seu período reduzido em 35%, uma vez que possui um status de reprovado dentre as três últimas calibrações consideradas e o erro total referente a essa reprovação está maior que duas vezes da faixa de tolerância.

## **5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para a garantia da confiabilidade das medições, é imprescindível o processo de calibração que, dentre outros fatores que o compõe, está o intervalo de calibração dos instrumentos. Este fator é estratégico para organização, visto que decisões importantes são tomadas, em função dos resultados das medições realizadas. Devido a sua importância, o intervalo de calibração deve ser bem definido e revisado, preferencialmente, segundo os métodos bem embasados e sempre adequando a necessidade do processo.

Após a aplicação dos métodos definidos na literatura revisada e aplicados nessa pesquisa, foi possível verificar que esses se preocupam apenas com o status da calibração, ou seja, leva-se como informação para a tomada de decisão apenas o status de aprovado ou reprovado do instrumento. Por isso, houve a necessidade de proposição de um método que além da avaliação do histórico de calibração e o status, também considerasse a análise do resultado de erros totais dos pontos calibrados, dentro da faixa de tolerância do instrumento nesse mesmo histórico. A ação a ser tomada para aumento ou redução do período de calibração, considerando os percentuais definidos na metodologia de Shcumacher.

O intervalo de calibração quando bem determinado estimula a prática da melhoria contínua, pois tende a contribuir para a redução da taxa de refugo ou retrabalho de produtos,

desprender menores gastos com a manutenção corretivas dos instrumentos de medição, aumentar a disponibilidade do instrumento na fábrica, dentre outros. Vale destacar que a tomada de decisão quanto a adoção do intervalo de calibração do instrumento deve sempre priorizar a manter o nível de confiabilidade dos resultados sob margem de segurança e com a menor variabilidade possível de erro e incerteza.

Logo, os resultados da pesquisa puderam apresentar, a partir da análise dos dados de uma empresa específica, uma nova proposta proposição do método para avaliação do intervalo de calibração, com a limitação de atender às necessidades específicas da empresa selecionada para o estudo.

Como proposta para pesquisas futuras, propõe-se uma análise semelhante à realizada nesta pesquisa, a saber: a de indagação da periodicidade de calibração de instrumentos em processos onde os serviços metrológicos podem causar impactos significativos na produtividade.

## REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, Armando G. Jr.; SOUSA, André R. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. 1º ed. São Paulo: Ed. Manole, 2008.

Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. **Áreas da engenharia de produção**. 2017. Disponível em: < <https://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362>>. Acesso em: 09nov2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO/IEC 17025:2005**: Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de calibração e Ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 9001:2015** - Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. 2ª. Edição, Rio de Janeiro, 2015.

ARAÚJO, Elinaldo B. de. **A organização da função Garantia da Qualidade e o papel da Metrologia**. Florianópolis: UFSC, 1995. Dissertação de Mestrado.

DUNHAM, Paulo Cezar C. L.; MACHADO, Marcio. **Método de alteração de intervalos entre calibrações**. São Paulo: Rede Metrológica de São Paulo - ENQUALAB-2008, 2008.

NATIONAL CONFERENCE OF STANDARDS LABORATORIES –NCSL. **Recommended Practice – 1 - RP-1**: Establishment and Adjustment of Calibration Intervals. 2010.

NOVASKI, Olívio; FRANCO, Samuel Mendes. **Comparação entre métodos para estabelecimento e ajuste de intervalos de calibração**. Sociedade Brasileira de Metrologia. Metrologia 2000 – São Paulo.

PORTELA, Willian. **Ajuste da Frequência de Calibração de Instrumentos de Processo** – Foco na Indústria Farmacêutica. In Metrologia, v I. Recife: Metrologia para a Vida, 2003.

THEISEN, Álvaro Medeiros de Farias. **Fundamentos da metrologia industrial**: aplicação no processo de certificação ISO 9000. Porto Alegre: Suliani, 1997, 205p.

**Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia**: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados - VIM 2012. 1ª. ed. - Rio de Janeiro: Ed. INMETRO, 2012.