

Implantação de um plano de calibração para os instrumentos de um laboratório metrológico localizado em Recife-PE

Eduardo L. N. Segundo^{1,2}

¹ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG; ² Especialização em Gestão da Manutenção - UFPE

E-mail: eduardolaimens@gmail.com

Resumo: Atualmente, é notório a importância de calibrar os instrumentos de medição, a fim de garantir confiabilidade nas medições realizadas, trazendo respaldo para os valores das aferições. Desse modo, um laboratório metrológico busca manter os seus medidores calibrados para oferecer um serviço confiável e que atenda as normas de qualidade, porém eles apresentam uma periodicidade de calibração variável, devido a frequência de utilização, da sua natureza de fabricação, do meio ao qual estão sendo submetidos. Visando diminuir os impactos dessa variabilidade, esta pesquisa apresenta um plano de calibração para os equipamentos do laboratório, baseado nos seus dados históricos de indisponibilidade.

Palavras-chave: confiabilidade; plano de calibração; indisponibilidade.

Abstract: Currently, it's notorious the importance of calibrating measuring instruments, to guarantee reliability in the measurements made, providing support for the values of the measurements. In this way, a metrological laboratory seeks to keep its meters calibrated in order to offer a reliable service that meets quality standards, but they have a variable calibration periodicity, due to the frequency of use, their nature of manufacture, the environment to which they are used. are being submitted. To reduce the impacts of this variability, this research presents a calibration plan for the laboratory equipment, based on its historical data of unavailability.

Keywords: reliability; calibration plan; unavailability.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é perceptível a importância das medições em todos os âmbitos da sociedade, tanto em relação aos aspectos industriais, como voltadas para as atividades de rotina das pessoas, utilizadas em processos de garantia da qualidade dos produtos, na comparação de desempenho de equipamentos, para definir especificações de fabricação, dentre várias outras.

Com isso, se torna essencial o uso de instrumentos que lhe garantam uma boa leitura nas aferições realizadas, que possuam confiabilidade nos dados obtidos, de forma que os resultados encontrados nas medições apresentem valores admissíveis, dentro de certo nível de confiança.

Uma das formas mais comuns de verificar se um determinado equipamento de medição apresenta boas aferições é através da calibração, que segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (2012), consiste em um processo que busca definir o erro e a incerteza de um determinado equipamento em diversos pontos, a partir de uma comparação entre valores medidos e a indicação do padrão, sob condições específicas, associando fontes de incertezas e estabelecendo relações entre o equipamento sujeito a calibração e um padrão de referência.

Em outras palavras, trata-se de um processo de comparação entre o equipamento do cliente, que será submetido a uma calibração, o chamado mensurando e um padrão de referência, que apresentam leituras precisas e exatas, permitindo através dos parâmetros calculados, verificar como está o desempenho do instrumento ao ser comparado com um equipamento de excelente performance.

Porém, esses padrões de referências do laboratório, também necessitam de calibração, formando assim uma cadeia de rastreabilidade metrológica, que de acordo com Santana et al. (2009), é um parâmetro que demonstra a possibilidade de comparar resultados ao longo de uma cadeia ininterrupta, funcionando de modo similar a uma pirâmide, em que equipamentos de um nível maior na estrutura, servem como padrões e calibram os das camadas mais baixo.

Assim, esse artigo apresenta estudos realizados, em uma empresa localizada na cidade de Recife-PE, que dispõe de um laboratório de calibração, possuindo uma série de padrões, que são utilizados para calibração de equipamentos de diversas grandezas, tais como: temperatura, pressão, acústica e elétrica. Esses padrões também precisam ser calibrados e possuem periodicidades distintas em relação ao tempo que precisam ser submetidos ao processo, pois o momento ideal depende de fatores como: frequência de utilização, manutenções no instrumento, as condições ambientais em que estão sendo expostos, dentre outros.

Essa variação do tempo de calibração de cada padrão do laboratório acarreta em problemas, devido ao descontrole da disponibilidade dos equipamentos, desse modo gera insatisfações dos clientes, por não atender o que foi acordado para execução do serviço, não cumprindo os prazos estipulados, além da necessidade de estar sempre realizando verificações para perceber as condições dos instrumentos.

Por serem padrões de alta precisão, não existem laboratórios nas proximidades capazes de realizar a calibração, restando à empresa recorrer a laboratórios localizados na região sudeste, gerando dificuldades logísticas, além do fato de que a organização possui várias filiais, espalhadas pelo Nordeste, implicando em necessidade de enviar um padrão para uma unidade, prejudicando os serviços prestados externamente. Essas implicações provocam atrasos no atendimento da demanda, uma queda na disponibilidade do equipamento, dificuldades no trabalho da gerência técnica do laboratório, por prejudicar o planejamento e programação das atividades, etc.

Diante desse cenário, foi proposto um plano de calibração, que estime o tempo de calibração para os padrões da empresa. Esses valores são obtidos por meio dos dados históricos dos equipamentos e de estudos estatísticos, que possibilitam a obtenção do período mais adequado, dentro das condições e limitações da pesquisa, para submeter um instrumento à calibração.

O artigo inicia definindo conceitos importantes para o entendimento da área de pesquisa. Desse modo, na seção 2, serão introduzidas definições importantes para a compreensão da calibração e os seus procedimentos, evidenciando aspectos intrínsecos ao processo. Já nas seções de 3 a 5, apresentam conceitos empregados na pesquisa, servindo de base teórica para explanação da aplicabilidade do estudo, além de apresentar características dos modelos utilizados, relacionados a teste de aderência, a forma de como foi realizada a linearização das funções densidades, qual critério foi utilizado para definir o plano de calibração, dentre outros. A seção 6, por sua vez, abrange a metodologia aplicada pra se alcançar os resultados e conclusões, que foram organizadas e trabalhadas, respectivamente, nas seções 7 e 8 do artigo.

2. CALIBRAÇÃO E SEUS PROCEDIMENTOS

Ao receber um equipamento para calibração, a primeira medida a ser feita é executar a limpeza do instrumento, retirando as impurezas e lacres antigos de calibrações passadas, além de testá-lo, observar se está operando dentro da normalidade e se ele necessita de algum reparo. É necessário submeter os instrumentos de medição a condições específicas, de temperatura, umidade, luminosidade, a fim de trazer leituras significativas para o processo.

Depois da coleta das leituras, esses valores são trabalhados por meio de estudos estatísticos, gerando um certificado de calibração, o qual possui informações referentes ao local onde foi realizada a calibração, descrição do padrão que foi utilizado no processo e as condições ambientais. A principal informação do resultado da calibração é o valor do erro e da incerteza de medição, para que o cliente seja capaz de observar se esses resultados estão dentro de um critério de aceitação, definido pelo mesmo. Caso não esteja, o cliente pode solicitar um ajuste, buscando melhores resultados ou optar por não utilizar mais o equipamento.

De acordo com Lima (2012), o erro é definido como o parâmetro, que é calculado através da diferença ente o valor verdadeiro e o valor descoberto durante a medição, possibilitando verificar se o valor medido se aproxima do valor convencionado como referência.

Já a incerteza de medição é um parâmetro relacionado à confiabilidade do resultado de medição, permitindo a quantificação do intervalo que o valor pode variar dentro de um nível de confiança, considerando vários fatores que interferem nesse resultado, tornando o cálculo complexo, que considera diversas variáveis, tais como: condições ambientais, frequência de utilização, desgaste do padrão e do mensurando, repetitividade das leituras, dentre outros aspectos. Para ser mais bem representada, a figura 01 apresenta os tipos e as respectivas definições da incerteza de medição.

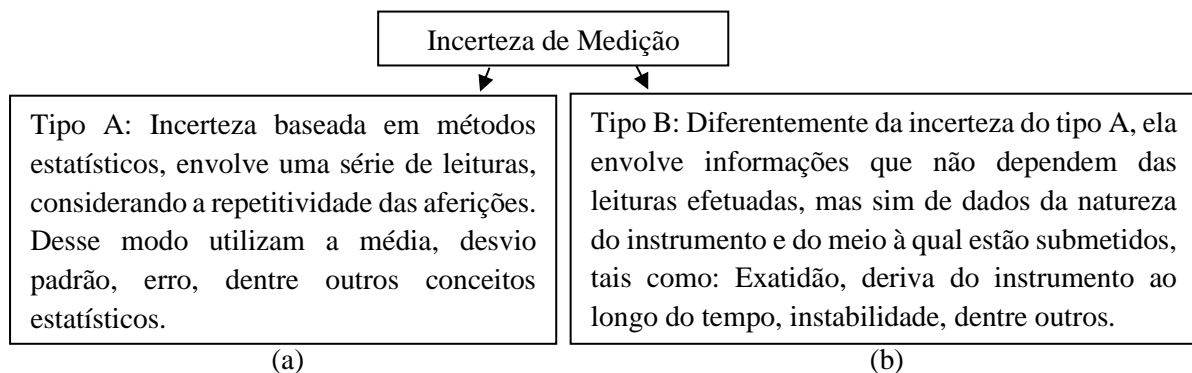


Figura 01 – Tipos de incerteza de medição: Tipo A (a) e Tipo B (b).

3. TESTE DE ADERÊNCIA

O texto Segundo Ferreira et al.(2006), teste de aderência são métodos estatísticos utilizados para avaliar se uma população qualquer se ajusta a uma variável aleatória, obedecendo uma distribuição de probabilidade exponencial, normal, lognormal, weibull, etc. Com isso, torna-se possível estimar certos parâmetros, tais como: tempo médio entre paradas para manutenção ou calibração, tempo de reparo, disponibilidade, dentre outros.

Identificadas as amostras, determinando-se a distribuição de probabilidade e estimando os seus parâmetros, aplica-se um teste de aderência para medir a qualidade do ajuste baseado nesses dados, ou seja, verificar estatisticamente a escolha por uma determinada distribuição. Os testes mais conhecidos e utilizados são: Qui-Quadrado e o Kolmorov-Smirnov.

De acordo Degroot (2002), esses testes são uma particularidade do teste de hipóteses, em que existem duas possibilidades, a hipótese nula afirma que a população segue uma determinada distribuição, enquanto a hipótese alternativa propõe justamente o contrário. O quadro 1, revela as etapas para a realização dos testes de aderência, que são apresentadas a seguir.

Quadro 01 – Etapas dos Testes de Aderência.

1º Passo	Análise Gráfica, reconhecimento de padrões
2º Passo	Escolha do modelo
3º Passo	Estimar parâmetros
4º Passo	Medir qualidade do Ajuste

4. LINEARIZAÇÃO DA FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE

Com intuito de verificar se a população obedece a um comportamento similar de acordo com um determinado modelo de probabilidade, é realizado o método da linearização, em que são plotados os pontos em papel milimetrado ou através de *softwares* matemáticos, visando transformar essa curva não conhecida em uma reta, tornando possível verificar se aquele conjunto de pontos se aproxima do comportamento de uma distribuição conhecida.

O primeiro procedimento a ser feito, é colocar os tempos coletados em ordem crescente, atribuindo um valor (*i*) para a cada colocação. Em seguida, precisa-se calcular o *Rank*, que servirá de apoio para a construção dos gráficos, através da equação 01, representada a seguir:

$$Rank = [(i - 0,3) / (n + 0,4)] * 100 \quad (01)$$

Onde:

Rank : *Ranking* que foi considerado para construção dos gráficos;

i: Valor atribuído a ordenação dos tempos, distribuídos de modo crescente, iniciados pelo 1;

n: Tamanho da amostra.

Para cada distribuição de probabilidade, são calculados os eixos x e y, possibilitando a construção dos gráficos e obtenção de parâmetros, que servirão de base para estimar o indicador, norteador do plano de calibração proposto. O quadro 2, apresenta as fórmulas utilizadas para obtenção desses valores, das distribuições utilizadas no estudo em questão.

Quadro 02 – Eixos e parâmetros das distribuições de probabilidade.

Distribuição de Probabilidade	Eixos e Parâmetros
Normal	$Eixo(X) = tempo$ $Eixo(Y) = rank(n)$ $\mu = media(t)$ $\sigma = desvio(t)$
Lognormal	$Eixo(X) = LN(tempo)$ $Eixo(Y) = rank(n)$ $\mu = media \ln(t)$ $\sigma = desvio \ln(t)$
Exponencial	$Eixo(X) = tempo$ $Eixo(Y) = \ln(1 - rank_n)$ $\lambda = -(X1)$
Weibull	$Eixo(X) = LN(tempo)$ $Eixo(Y) = LN(-LN(1 - rank_n))$ $\beta = (X1)$ $\eta = \exp^{-(intersec\ ao) / \beta}$

5. MTBF

O termo vem do inglês, significa *Mean Time Between Failure*, traduzido para o português quer dizer o tempo médio entre falhas. Esse indicador é de bastante importância no âmbito da manutenção, devido ao fato de estar diretamente ligado à confiabilidade do equipamento. Ele serve como norteador para os planos de paradas preventivas, pois determina a frequência com que os instrumentos devem ser submetidos a atividades de manutenção, reparos, calibração, dentre outros.

Por meio de estudos e de coletas de dados dos equipamentos, torna-se possível calcular o MTBF para cada instrumento, porém o seu cálculo é modificado para cada distribuição, em uma função densidade de probabilidade, cada qual respeitando os seus respectivos parâmetros, conforme demonstrado no quadro 03, a seguir.

Quadro 03 – MTBF para cada distribuição de probabilidade.

Distribuição de Probabilidade	Tempo Médio entre Falhas
Normal	$MTBF = \mu$
Lognormal	$MTBF = e^{(\mu + \frac{\sigma^2}{2})}$
Exponencial	$MTBF = 1/\lambda$
Weibull	$MTBF = \theta \Gamma(1 + 1/\gamma)$

6. METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia para execução deste estudo foi baseada nos dados históricos dos equipamentos, nas datas em que eles se tornaram indisponível para uso, por falta de calibração em um laboratório metrológico.

Primeiramente, foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre temas relacionados a calibração, métodos estatísticos, temas da gestão da manutenção, que são necessários para entender o propósito do estudo e conhecer os meios de trabalhar os dados de modo que auxilie e traga vantagens à empresa, tornando o processo mais rentável.

Depois disso, foi preciso coletar os dados registrados, que foram arquivados no próprio laboratório, informando com detalhes o que ocorreu com cada equipamento, desde a aquisição do instrumento. O arquivamento obedece ao sistema de qualidade da empresa, em que cada equipamento possui sua pasta e descreve cronologicamente os fatos aos quais ele foi submetido.

Com a posse dos dados, foi possível realizar as análises e propor um plano de calibração que traga resultados mais satisfatórios, estimando um tempo fixo para submeter o instrumento à calibração, contribuindo para um melhor planejamento em virtude de conhecer o momento de preparar o instrumento para realizar o processo.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Visando organizar os dados coletados para realização dos estudos, a tabela 1 revela os tempos em que cada padrão ficou disponível até o momento que precisou ser calibrado. Esses valores foram colocados em ordem crescente e os tempos foram convencionados para a unidade em anos, que facilitará a aplicação dos métodos que buscam perceber qual a distribuição que mais se assemelha ao comportamento do padrão.

Tabela 1 – Períodos das calibrações de cada padrão em ordem crescente(anos).

	1 ^o Calib.	2 ^o Calib.	3 ^o Calib.	4 ^o Calib.	5 ^o Calib.	6 ^o Calib.	7 ^o Calib.	8 ^o Calib.	9 ^o Calib.	10 ^o Calib.
Padrão 1	0,1	0,8	1,5	1,6	1,7	2,8	3,1	3,3	-	-
Padrão 2	0,3	0,7	1,0	1,3	5,2	5,6	-	-	-	-
Padrão 3	0,8	1,1	1,5	1,5	1,9	2,0	2,8	3,1	3,2	-
Padrão 4	0,1	0,5	0,6	2,4	3,1	3,5	4,2	4,3	-	-
Padrão 5	0,3	0,5	0,8	0,8	1,5	1,6	1,7	2,2	2,6	-

Com base nesses valores, foi possível linearizar a função densidade de probabilidade. Para fins de análises, foram considerados 4 tipos de distribuições: Normal, Lognormal, Exponencial e Weibull. Foi escolhida, dentre elas, qual função se adequa mais aos conjuntos de dados coletados do laboratório de calibração.

Para facilitar a plotagem dos gráficos e a realização da regressão linear dos dados, a fim de observar qual o melhor modelo para o comportamento daquele determinado padrão, foi utilizado o *software* Excel, auxiliando nos cálculos estatísticos necessários para desenvolver o processo.

O padrão 1 por exemplo, desde a sua aquisição, passou por 8 calibrações, com seus períodos representados na Tabela 1, registrando todos os intervalos em que ele estava apto para ser utilizado até o momento da sua parada para calibração.

Com a ordenação dos tempos, foram calculados os *Rank's*, além dos eixos e parâmetros utilizados para construção dos gráficos para cada distribuição, conforme apresentados no quadro 2.

Para cada gráfico, foi realizada a regressão linear a 95% de nível de confiança, a fim de perceber qual distribuição melhor se ajusta ao conjunto de dados, através do coeficiente R múltiplo, que representa uma medida de correlação entre os dados e o modelo, quanto mais próximo de 1, mais existe aderência dos valores aquela distribuição.

Para o padrão 1, o R múltiplo mais próximo de 1, foi na distribuição normal. Daí, a justificativa pela sua escolha, os valores encontrados são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros para construção do gráfico da distribuição normal do padrão 1.

<i>i</i>	<i>tempo</i>	<i>Rank</i>	<i>Eixo (x)</i>	<i>Eixo (y)</i>
1	0,1	0,0833	0,1	8,33%
2	0,8	0,2024	0,8	20,24%
3	1,5	0,3214	1,5	32,14%
4	1,6	0,4405	1,6	44,05%
5	1,7	0,5595	1,7	55,95%
6	2,8	0,6786	2,8	67,86%
7	3,1	0,7976	3,1	79,76%
8	3,3	0,9167	3,3	91,67%

A figura 02, ilustra o comportamento do padrão 1 para a distribuição normal com desvio padrão igual a aproximadamente 1,13 e R múltiplo cerca 0,98, evidenciando a sua proximidade com a reta.

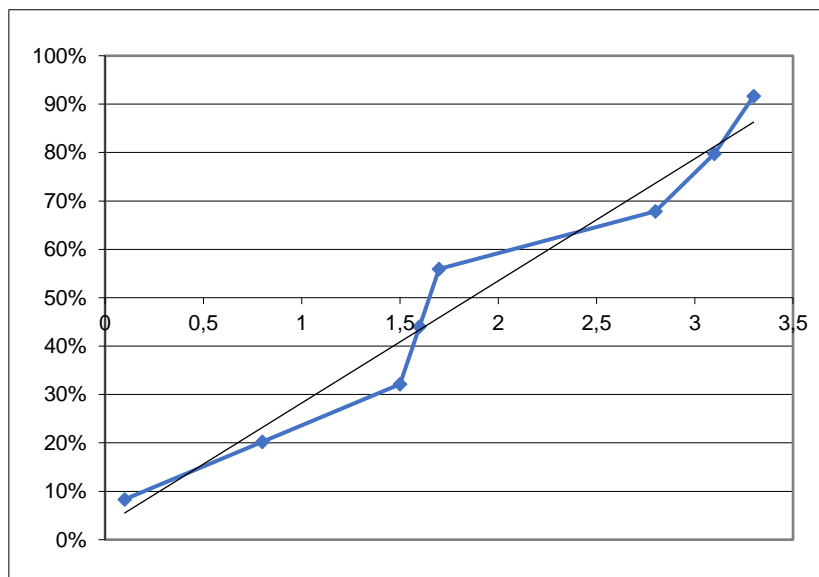


Figura 02 – Distribuição normal: Padrão 1.

De maneira análoga, repetiu-se o processo para os 5 padrões do laboratório, escolhendo as distribuições de probabilidade que mais se ajustam aos seus tempos de calibração. Possibilitando a descoberta dos seus respectivos MTBF's (*Mean Time Between Failures*), que como o próprio nome traduzido para o português retrata, quer dizer tempo médio entre falhas, ou seja, um período médio em que ocorre uma intervenção.

Será esse indicador que norteará o estudo para definir um plano de calibração, estimando um tempo médio que possivelmente o equipamento necessite ser calibrado, porém para calculá-lo, cada distribuição possui o seu cálculo. A tabela 3 demonstra qual foi a distribuição escolhida para cada padrão, assim como o seu MTBF, calculado com base nos parâmetros do seu modelo.

Tabela 3 – Distribuição de probabilidade e MTBF para cada equipamento.

<i>Equipamento</i>	<i>Distribuição</i>	<i>MTBF</i>
Padrão 1	Normal	1,86
Padrão 2	Lognormal	2,74
Padrão 3	Weibull	2,01
Padrão 4	Normal	2,34
Padrão 5	Weibull	1,39

A partir dos indicadores coletados, foi criado um plano de calibração, estipulando a periodicidade com que cada padrão passará por uma calibração, representados no quadro 4.

Quadro 4 – Plano de Calibração.

Equipamento (Instrumento de medição do laboratório)	Periodicidade para submeter a uma calibração
Padrão 1	1 ano e 10 meses
Padrão 2	2 anos e 9 meses
Padrão 3	2 anos e 1 mês
Padrão 4	2 anos e 4 meses
Padrão 5	1 ano e 5 meses

8. CONCLUSÃO

Em virtude dos dados abordados, essa proposta de estipular períodos preventivos, busca minimizar os impactos da indisponibilidade dos equipamentos no momento de prestar um serviço, de forma que é esperado obter vantagens competitivas em várias áreas da empresa, tais como:

- Financeira – Evita ter que arcar por uma calibração com um preço elevado, em virtude de se ter um prazo menor para realizar a calibração, devido à necessidade de se ter o equipamento com urgência de volta. Ainda possibilita um acordo com a prestadora de serviço, visando mandar os instrumentos de medições em períodos predefinidos, conseguindo descontos no serviço;
- Logística - Como esse tipo de serviço envolve equipamentos de precisão, a política da empresa é de enviar um representante para os locais em que serão encaminhados os padrões de referência. Se for implantado o plano de calibração, pode-se realizar um melhor planejamento, programando-se de uma maneira mais assertiva e possibilitando um traslado com custos mais reduzidos em virtude da antecipação aos fatos, diferentemente de se programar com um prazo pequeno;

- Qualidade – Diminui a ocorrência de casos em que o cliente não é atendido no prazo estabelecido, em virtude de o equipamento necessário para a calibração estar indisponível, se programando de modo que cumpra os acordos com base em uma programação satisfatória dos seus padrões;
- Gerencial – Facilita o planejamento das atividades da equipe de trabalho, verificando quais serviços devem ser prioridades e quais equipamentos podem ser enviados para as unidades externas por não estarem na programação de uso. Além de se ter os controles de quais instrumentos estão aptos para ser utilizá-los, evitando essa percepção no início do trabalho.

Assim, essa proposta busca aumentar a produtividade do laboratório, através de um plano de calibração baseado em tempos preventivos. Vale salientar que quanto mais amostras forem coletadas ao longo dos anos, mais significativos serão os resultados para a empresa.

REFERÊNCIAS

- [1] BRAILE, A.V.; ANDRADE, J.J.O. Estudo de falhas em equipamentos de costura industriais utilizando o fmea e a análise de confiabilidade. In: XXXIV Encontro Nacional De Engenharia De Produção – ENEGEP, Salvador, 2013;
- [2] DEGROOT, Morris H.; SCHERVISH, Mark J. Probability and statistics. 2002.
- [3] FERREIRA, Rodrigo José Pires et al. Sistema estatístico para controle e avaliação do desempenho da manutenção. ENEGEP 2006, 2006;
- [4] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. VIM– Vocabulário Internacional de Metrologia- Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). 2012;
- [5] LIMA, J. P. et al. O laboratório de mecânica. Porto Alegre: IF-UFRGS, 2012;
- [6] SANTANA, Márcio AA et al. A demanda, os requisitos e a calibração de dataloggers utilizados no monitoramento ambiental no Brasil. METROLOGIA, 2009.