

## **Aplicação dos métodos A1, A2 e do método da resposta incremental para ajuste de intervalos de calibração**

### **Application of A1, A2 and the incremental response method for adjusting calibration intervals**

DOI:10.34117/bjdv7n7-487

Recebimento dos originais: 22/06/2021

Aceitação para publicação: 22/07/2021

#### **Pedro Henrique Gouveia de Souza**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária - Recife - PE - Brasil - CEP: 50740-540.

#### **Antônio Marcos de Figueiredo Soares**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária - Recife - PE - Brasil - CEP: 50740-540.

E-mail: antoniomarcos@recife.ifpe.edu.br

#### **Carlos Augusto do Nascimento Oliveira**

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária – Recife – PE – Brasil - CEP: 50670-901.

#### **José Eduardo Ferreira de Oliveira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária - Recife - PE - Brasil - CEP: 50740-540.

#### **Eduardo José Alcécio de Oliveira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária - Recife - PE - Brasil - CEP: 50740-540.

#### **Nelson Gonçalves da Silva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária - Recife - PE - Brasil - CEP: 50740-540.

#### **Rogério Pontes de Araujo**

Universidade de Pernambuco – UPE, Av. Gov. Agamenon Magalhães - Santo Amaro, Recife – PE – Brasil – CEP: 50100-010

#### **Sidney Teylor de Oliveira**

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET. R. Gen. Canabarro, 485 – Maracanã - Rio de Janeiro – RJ - CEP: 20271-204

### **RESUMO**

Este trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo de caso experimental para ajuste de intervalo de calibração em uma célula de torque. A pesquisa é conduzida utilizando os conceitos dos Métodos A1, A2 e o Método da Resposta Incremental - MRI, que são procedimentos para a definição do intervalo de calibração em sistemas de medição. O estudo foi conduzido tomando-se como base calibrações da célula de torque, realizadas

ao longo de quatro anos. Para a comparação entre os métodos, foi criado ainda um software gratuito chamado AIC – Ajuste do Intervalo de Calibração, desenvolvido na linguagem de programação Visual Basic for Application – VBA, o qual realiza os ajustes de acordo com métodos estudados de modo otimizado. É ainda apresentado neste trabalho, uma análise de regressão com o objetivo de verificar o tempo em que haja necessidade da realização de um ajuste na célula de torque.

**Palavras-Chave:** Intervalo de Calibração, Métodos de Ajuste de Intervalo de Calibração, Método da Resposta Incremental.

## ABSTRACT

This paper aims to present an experimental case study for setting the calibration interval in a torque cell. The research is conducted using the concepts of Methods A1, A2 and the Incremental Response Method - IRM, which are procedures for defining the calibration interval in measurement systems. The study was conducted on the basis of torque cell calibrations performed over four years. For comparison between methods, a free software called AIC - Calibration Interval Adjustment, developed in Visual Basic for Application - VBA programming language, which performs the adjustments according to the studied methods in an optimized way, was also created. It is also presented in this work, a regression analysis with the objective of verifying the time when there is the need for an adjustment in the torque cell.

**Keywords:** Calibration Interval, Calibration Interval Adjustment Methods, Incremental Response Method.

## 1 INTRODUÇÃO

Por meio da metrologia se promove a garantia da repetibilidade, rastreabilidade e da confiabilidade de um produto ou serviço. Embora seja muitas vezes subvalorizada (ou desconhecida), ela é uma área fundamental para o desenvolvimento e soberania de uma nação, uma vez que está presente em todos os setores industriais, pois os sistemas de medição são os elementos básicos de qualquer atividade produtiva. Desse modo, estima-se que cerca de 4% a 6% do PIB nacional dos países industrializados sejam dedicados aos processos de medição (FERNANDES, 2010). Tendo em vista que o PIB brasileiro em 2020 foi de aproximadamente 7,4 trilhões de reais (IBGE, 2020), pode-se estimar que cerca de 370 bilhões de reais tenham sido dedicados às operações metrológicas.

Por outro lado, de acordo com o item 7.1.5.2 da NBR ISO 9001 (2015), quando a rastreabilidade de medição for um requisito para a validade de resultados de medição, os equipamentos de medição deverão ser verificados e/ou calibrados a intervalos especificados. Tais intervalos deverão ser estabelecidos de maneira a não inviabilizarem os resultados de medição obtidos dentro desses intervalos.

Assim, é fundamental que os equipamentos e instrumentos de medição passem por calibrações periódicas visando a garantia de que continuem sendo confiáveis e estáveis. Nessa perspectiva, a estabilidade de um instrumento de medição, ou sistema de medição, ou material de referência ou uma medida materializada é a capacidade de manter suas características metrológicas perceptivelmente inalteradas ao longo do tempo (OLIVEIRA, 2008).

Os responsáveis pela calibração de equipamentos se deparam constantemente com pressões para minimizarem os custos, estabelecer conformidade com a ISO 9000 e melhorarem a confiabilidade dos equipamentos de medição e testes (WYATT et al., 1991). Isso é motivado pois, tanto os laboratórios quanto os seus clientes estão dispostos a realizar esses ajustes tendo em vista um aumento da eficiência e, portanto, têm interesse em estabelecer um meio eficaz para solucionar o problema (BARE, 2006).

Na medida em que se aumenta o custo referente à realização das calibrações em função do encurtamento do intervalo de calibração, ocorre uma diminuição no risco de uso de um equipamento de medição não conforme. Por outro lado, na medida em que se encurta o custo referente a realização das calibrações em função do aumento desse intervalo pode-se ter um impacto direto na confiabilidade dos resultados gerados pelos equipamentos.

Dessa forma, é de suma importância a utilização de métodos para se realizar o ajuste e controle da periodicidade de calibração com objetivo de se atingir um intervalo ótimo no qual é definido como maximizar a periodicidade, minimizando os custos de calibração e de perdas por interrupção, sem afetar a confiabilidade do produto, sistema, processo ou ação associada à unidade a ser calibrada (DRYER, 2014).

Existem vários procedimentos para o estabelecimento dos intervalos de calibração. Infelizmente, muitos são complexos e requerem elevado esforço intelectual (BARE, 2006). Para a escolha do intervalo inicial de calibração deve-se alinhar a experiência técnica de quem manuseia e entende do equipamento de medição a quatro fatores fundamentais: Recomendações do fabricante do equipamento; Severidade de uso; Influência das condições ambientais e Exatidão, repetibilidade e incerteza de medição pretendidas (NBR 10012-1, 1993; ILAG-G 24, 2007; NCSL, 1989; CASTRUP et al., 1994).

A adoção de um dos métodos dependerá do tratamento que se deseja dar aos equipamentos de medição. Então, cada modelo possui propriedades específicas, trazendo diferentes benefícios para diferentes aplicações. Nesse contexto, um dos objetivos do

estudo foi realizar uma comparação entre os métodos, destacando suas características e diferenças, a fim de conseguir melhor aproveitar as qualidades de cada um deles nos diferentes contextos. Para tal, o software intitulado “AIC – Ajuste do Intervalo de Calibração”, desenvolvido na linguagem de programação Visual Basic for Applications - VBA, irá oferecer de forma simples, didática e gratuita uma maneira que simplifica a utilização dos Métodos A1, A2 e o Método da Resposta Incremental - MRI, bastando a inserção dos dados de um equipamento qualquer para que sejam gerados, automaticamente, os resultados relacionados à alteração da periodicidade proposta por cada modelo, visando assim, diminuir esforços dos profissionais, minimizar falhas, aumentar a confiabilidade metrológica do equipamento, bem como gerar benefícios concretos para empresas já presentes no mercado sem nenhum custo adicional.

Este trabalho apresenta ainda um estudo desenvolvido em uma célula de torque com faixa nominal de 100 N.m, visando a realização do ajuste do seu intervalo de calibração, através da utilização e comparação dos métodos A1, A2 e da Resposta Incremental em quatro calibrações consecutivas.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 MÉTODO A1**

O método é definido como um modelo reativo de simples resposta, no qual a periodicidade entre calibrações é dada em função do status do instrumento apresentado na calibração, ou seja, no estado de conformidade do dispositivo, para o uso pretendido levando em consideração também o grau de confiabilidade metrológica da medição (SARAIVA, 2008; DRYER, 2014).

De acordo com esse método, a frequência de calibração é alterada, analisando-se o nível de conformidade do instrumento, de tal forma que o período entre calibrações pode aumentar em 10%, caso o instrumento apresente os desvios dentro da tolerância, ou poderá ser reduzido em 45%, caso o instrumento se encontre fora da tolerância (PORTELLA, 2003; DUNHAM E MACHADO, 2008; TRINDADE ET AL, 2016).

Trata-se de um método simples, de baixo custo e de baixa dificuldade operacional, porém com uma precisão comparativamente inferior em relação a outros métodos, como o Método da Resposta Incremental, por não possuir análise histórica e ação preventiva, por isso, não é recomendado para equipamentos mais complexos (PORTELLA, 2003).

## 2.2 MÉTODO A2

Assim como o A1, esse método também é definido como sendo um método reativo e de simples resposta (SARAIVA, 2008). Neste caso, leva-se em consideração o estado de conformidade do dispositivo para se realizar o ajuste do intervalo de calibração, mas diferentemente do modelo anterior, o ajuste depende da amplitude da variação dos desvios encontrados fora da tolerância em relação aos critérios predefinidos pelo processo. (PORTELLA, 2003; NOVASKI & FRANCO, 2003).

Dessa forma, são utilizados três códigos para identificar o grau de especificação dos desvios encontrados, sendo eles:

-Código 0: os desvios encontrados estão dentro das especificações. Nesse caso, ocorre um ajuste no intervalo de calibração, com um acréscimo de 1,81% na periodicidade atual de calibração.

-Código 1: os desvios encontrados estão fora das especificações. Nesse caso, ocorre um ajuste no intervalo de calibração, com uma diminuição de 12,94% na periodicidade atual de calibração.

-Código 2: os desvios encontrados estão fora das especificações, duas vezes acima do tolerado para o processo. Nesse caso, ocorre um ajuste no intervalo de calibração, com uma diminuição de 20,63% na periodicidade atual de calibração.

Vale ressaltar ainda que as vantagens e as desvantagens desse método são as mesmas do A1, pois possui baixa dificuldade operacional, análise individual dos instrumentos e não leva em consideração o histórico do dispositivo (DRYER, 2014; PORTELLA, 2003).

## 2.3 MÉTODO DA RESPOSTA INCREMENTAL - MRI

Na literatura moderna, constatou-se a necessidade de mudança na equação clássica do Método A4 no qual foi inserido um novo parâmetro que faz com que a amplitude de cada ajuste seja dada em função do ajuste anterior. Dessa forma, se o comportamento de um item de interesse é estável ao longo do processo de ajuste, então os ajustes vão se tornando sucessivamente menores até que um intervalo “correto” final seja alcançado. Essa variação foi chamada de Método da Resposta Incremental (NCSL, 2010).

Esse método, embora também utilize o conceito do estado de conformidade com que o dispositivo é encontrado na calibração, diferencia-se dos demais por introduzir o conceito de algoritmo matemático, considerando-se o nível de confiança, a periodicidade

inicial de calibração adotada, o número de ciclos de calibração já executadas, a periodicidade atual e um fator de conformidade (DUNHAM E MACHADO, 2008; PORTELLA, 2003). Sua fórmula tem duas possíveis variações dadas pelas Eq. (1) e (2), respectivamente.

$$I_{m+1} = I_m [1 + \Delta_{m+1}(y_{m+1} - R)] \quad (1)$$

$$I_{m+1} = I_m [1 + \Delta_{m+1}(-R)^{1-y_{m+1}}(R)^{y_{m+1}}] \quad (2)$$

O novo parâmetro é uma função positiva denominada  $\Delta_m$  no qual é determinada a partir de uma análise numérica. Sua atuação é feita a partir de uma redução progressiva no seu valor em decorrência de não conformidades ao longo do processo, determinada pela Eq. (3).

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^{|y_{m+1} - y_m|} \quad (3)$$

Onde:

$I_{m+1}$  = Periodicidade Ajustada;

$I_m$  = Periodicidade Atual;

$I_0$  = Periodicidade Inicial;

$y_m$  = Fator de Conformidade;

Conforme = 1

Não-Conforme = 0

$R$  = Nível de Confiança (%);

$m$  = Ciclos de Calibração.

$Y_0 = 1, \Delta_0 = 1.$

Dentre os métodos citados, esse é o mais completo por trazer resultados mais realísticos, requerendo um tratamento matemático mais apurado e, conseqüentemente, um algoritmo com maior complexidade (FREITAS et al., 2017). Dessa forma, é possível observar que o modelo apresenta um ajuste do intervalo de calibração mais equilibrado em relação aos outros métodos, principalmente em resposta a não-conformidades do dispositivo.

Existem três passos principais para realizar o ajuste do intervalo de calibração pelo Método da Resposta Incremental, são eles:

**1º Passo – Identificar os Fatores de Conformidade Atual e Ajustado ( $Y_m$  e  $Y_{m+1}$ )**

$Y_m$  = Fator de Conformidade do Ajuste Anterior.

$Y_m = Y_0$  (Não houve ajuste do intervalo de calibração anterior, pois este é o primeiro ciclo de calibração, então  $m=0$ ). Sabendo da convenção utilizada, então  $Y_0 = 1$ .

$Y_{m+1}$  = Fator de Conformidade Atual.

Por se tratar do 1º Ajuste do Intervalo de Calibração,  $Y_{m+1} = Y_1$ , pois  $m=0$ . De acordo com o estado de conformidade do dispositivo,  $Y_1 = 0$  para não-conforme e  $Y_1 = 1$  para conforme.

Substituindo os valores em caso de instrumento conforme, tem-se:

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^{|y_{m+1} - y_m|}$$

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^{|y_1 - y_0|}$$

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^{|1 - 1|}$$

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^0$$

**2º Passo – Identificar os valores de  $\Delta_m$  e  $\Delta_{m+1}$** 

Tendo em vista que  $m=0$ , então  $\Delta_m = \Delta_0$  e  $\Delta_{m+1} = \Delta_1$ . A partir da convenção utilizada, sabe-se que  $\Delta_0 = 1$ .

Substituindo os valores:

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^0$$

$$\Delta_1 = \Delta_0 / 2^0$$

$$\Delta_1 = 1 / 2^0$$

$$\Delta_1 = 1 / 1$$

$$\Delta_1 = 1$$

**3º Passo – Identificar os valores de  $I_m$ ,  $I_{m+1}$  e  $R$** 

Tendo em vista que  $m=0$ , então  $I_m = I_0$  e  $I_{m+1} = I_1$ .

$I_0$  = Periodicidade Inicial de Calibração

$R$  = Nível de Confiança

Substituindo os valores:

$$I_{m+1} = I_m [1 + \Delta_{m+1}(y_{m+1} - R)]$$

$$I_1 = I_0 [1 + \Delta_1(y_1 - R)]$$

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho é realizado o ajuste do intervalo de calibração na célula de torque de 100 N.m na bancada de calibração de taquímetros apresentada na figura 1. A célula de torque é caracterizada por ter indicação digital, funcionar em sentido horário e anti-horário, ter faixa nominal de 0 a 100 N.m e resolução de 0,1 N.m.

Figura 1 – Bancada de torque utilizada no estudo



Na metodologia desta pesquisa são usados os métodos de ajuste de intervalo de calibração A1, A2 e MRI. Para a parametrização inicial do ajuste de intervalo de calibração foi estabelecido com base na experiência um período inicial e para a aplicação dos métodos foram utilizados os quatro últimos certificados de calibração, com periodicidade **inicial** pré-definida como de 12 meses.

As alterações do intervalo de calibração pelos métodos A1, A2 e MRI. ocorreram ano a ano, uma vez que no primeiro certificado de calibração analisado a periodicidade pré-definida foi de um (01) ano.

De acordo com o critério de conformidade do laboratório, a incerteza máxima que o certificado de calibração da célula poderá apresentar é 0,8 N.m. Por outro lado, o erro máximo avaliado - Emav é de 1%. Assim, os certificados de calibração que atenderem a estes dois itens, o padrão é considerado conforme (C).

Foi utilizado ainda, o software AIC (Figura 2), desenvolvido durante o presente estudo, com o objetivo de comparar os resultados obtidos através de cada método, visando compreender as suas características e dessa forma, otimizar o ajuste da periodicidade.

Figura 2 – Tela Inicial do Software



## 4 RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS DO SOFTWARE

Finalmente, é importante destacar os resultados da atuação do software AIC – Ajuste do Intervalo de Calibração, com base no Método A1 (Figura 3), Método A2 (Figura 4) e MRI (Figura 5). As especificações utilizadas são as mesmas da Célula de Torque.

Figura 3 – Ajuste do intervalo do Método A1 pelo AIC

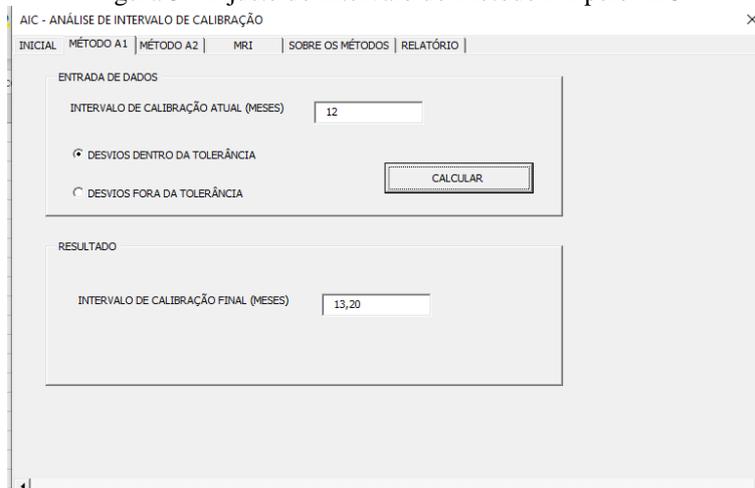


Figura 4 – Ajuste do intervalo do Método A2 pelo AIC

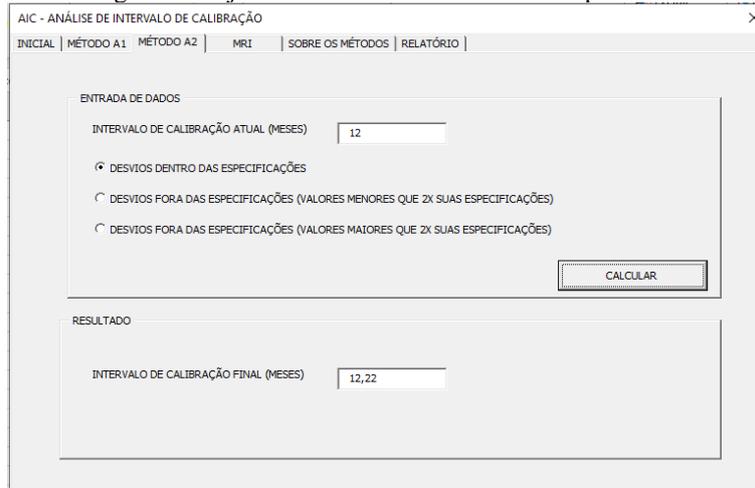
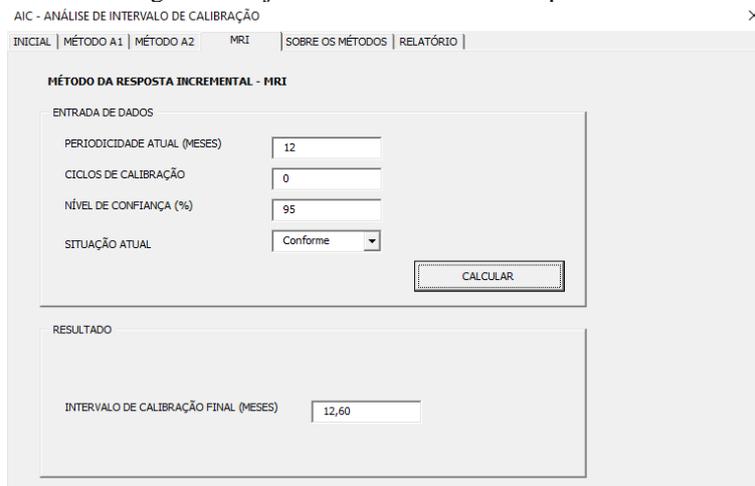


Figura 5 – Ajuste do intervalo do MRI pelo AIC



## 4.2 CÁLCULO USANDO MRI

### 4.2.1 Primeiro Ajuste do Intervalo de Calibração (Conforme)

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^{|y_{m+1} - y_m|}$$

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^{|y^1 - y^0|}$$

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^{|1 - 1|}$$

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^0$$

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^0$$

$$\Delta_1 = \Delta_0 / 2^0$$

$$\Delta_1 = 1 / 2^0$$

$$\Delta_1 = 1 / 1$$

$$\Delta_1 = 1$$

$I_0$  = Periodicidade Inicial de Calibração (12 meses)

$$I_0 = 12$$

R = Nível de Confiança (95%)

$$R = 0,95$$

Substituindo os valores:

$$I_{m+1} = I_m [1 + \Delta_{m+1}(y_{m+1} - R)]$$

$$I_1 = I_0 [1 + \Delta_1(y_1 - R)]$$

$$I_1 = 12 [1 + 1(1 - 0,95)]$$

$$I_1 = 12 [1 + 0,05]$$

$$I_1 = 12[1,05]$$

$$I_1 = \mathbf{12,6 \text{ meses}}$$

#### 4.2.2 Segundo Ajuste do Intervalo de Calibração (Conforme)

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^{|y_{m+1} - y_m|}$$

$$\Delta_2 = \Delta_1 / 2^{|y_2 - y_1|} = 1/2^0 = 1/1$$

$$\Delta_2 = \mathbf{1}$$

$$I_{m+1} = I_m [1 + \Delta_{m+1}(y_{m+1} - R)]$$

$$I_2 = I_1 [1 + \Delta_2(y_2 - R)]$$

$$I_2 = 12,6 [1 + 1(1 - 0,95)] = 12,6 [1 + 0,05] = 12,6[1,05]$$

$$I_2 = \mathbf{13,23 \text{ meses}}$$

#### 4.2.3 Terceiro Intervalo de Calibração (Conforme)

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^{|y_{m+1} - y_m|}$$

$$\Delta_3 = \Delta_2 / 2^{|y_3 - y_2|} = 1/2^0 = 1/1$$

$$\Delta_3 = \mathbf{1}$$

$$I_{m+1} = I_m [1 + \Delta_{m+1}(y_{m+1} - R)]$$

$$I_3 = I_2 [1 + \Delta_3(y_3 - R)]$$

$$I_3 = 13,23 [1 + 1(1 - 0,95)] = 13,23 [1 + 0,05] = 13,23[1,05]$$

$$I_3 = \mathbf{13,99 \text{ meses}}$$

#### 4.2.4 Quarto Intervalo de Calibração (Conforme)

$$\Delta_{m+1} = \Delta_m / 2^{|y_{m+1} - y_m|}$$

$$\Delta_4 = \Delta_3 / 2^{|y_4 - y_3|} = 1/2^0 = 1/1$$

$$\Delta_4 = 1$$

$$I_{m+1} = I_m [1 + \Delta_{m+1}(y_{m+1} - R)]$$

$$I_4 = I_3 [1 + \Delta_4(y_4 - R)]$$

$$I_4 = 13,99 [1 + 1(1 - 0,95)] = 13,99 [1 + 0,05] = 13,99[1,05]$$

$$I_4 = 14,69 \text{ meses}$$

#### 4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

Por intermédio da análise dos resultados apresentados na Tabela 1 foi possível se verificar que o método A1 gerou o maior intervalo entre os três métodos aplicados e o Método A2, o menor ajuste, ficando o MRI em uma situação intermediária. Assim, pode-se adotar um valor entre o maior e o menor, localizado mais próximo do valor apresentado pelo MRI, tomando-se, por exemplo, um acréscimo de quatro meses, passando-se assim, de 12 meses para 15 meses (Tabela 2). É importante salientar que esta economia gerada através do aumento do intervalo de calibração é para apenas um único sistema de medição do laboratório. Aplicando-se esta metodologia aos demais equipamentos, a economia, conseqüentemente, será muito mais expressiva, dependendo da quantidade e dos custos relacionados à calibração periódica.

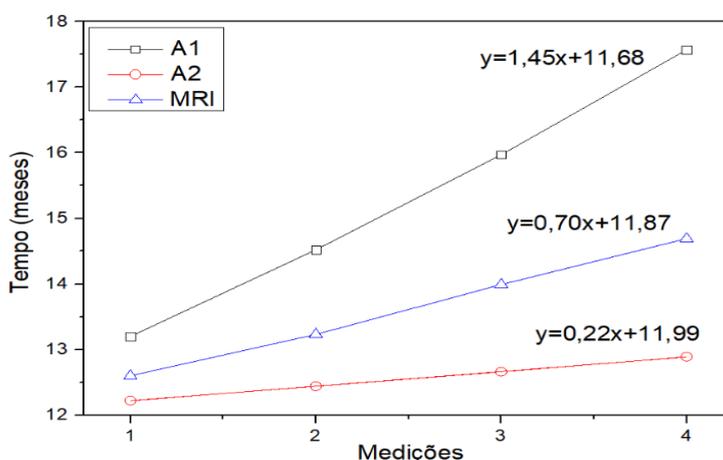
Tabela 1: Dados obtidos das quatro últimas calibrações da célula de torque, destacando os incrementos do intervalo pelos métodos A1, A2 e MRI

Ano	Método A1 (Meses)	Método A2 (Meses)	MRI (Meses)
1	13,2	12,22	12,6
2	14,52	12,44	13,23
3	15,97	12,66	13,99
4	17,57	12,89	14,69

Tabela 2: Resumo dos intervalos de calibração aumentados, considerando-se os quatro métodos estudados

Método	Periodicidade (meses)
A1	18
A2	13
MRI	15

Figura 6 – Gráfico da comparação entre os Métodos A1, A2 e MRI



#### 4.4 VERIFICAÇÃO DO TEMPO DE AJUSTE EM FUNÇÃO DO ERRO MÁXIMO AVALIADO

Durante quatro anos ininterruptos, foram realizadas calibrações periódicas com intervalos de doze meses entre uma e outra, em laboratórios acreditados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), seguindo, portanto, os requisitos de calibração preconizados pela NBR ISO/IEC 17025 (2017). Além disto, entre os intervalos de calibração foram realizadas verificações intermediárias na célula, cujo acompanhamento do comportamento da mesma foi realizado através da geração de cartas de controle (ISO 7870-1, 2014; ISO 7870-2, 2013).

O erro máximo avaliado ( $E_{mav}$ ) foi utilizado como parâmetro de decisão neste processo, uma vez que ele é determinístico para a necessidade de ajuste. Ele é calculado, conforme apresentado na Eq. (4). A Tabela 3 apresenta os valores da tendência máxima e da maior incerteza expandida de medição, ambas obtidas em cada certificado de calibração anual. Como critério de realização de ajuste, o erro máximo avaliado não poderá exceder 1%.

$$E_{mav} = |T_{dmax}| + U_{max} \quad (4)$$

Onde:

$T_{dmax}$  = tendência máxima da célula de torque e

$U_{max}$  = maior incerteza expandida de medição expandida apresentada no certificado de calibração.

Tabela 3: Valores de  $T_{dmax}$ ,  $U_{max}$  e  $E_{mav}$

Ano	$T_{dmax}$ (N.m)	$U_{max}$ (N.m)	$E_{mav}$ (N.m)
1	0,10	0,06	0,16
2	0,15	0,06	0,21
3	0,26	0,06	0,32
4	0,40	0,06	0,46

Nesta situação, como o valor de fundo de escala da célula de torque é igual a 100 N.m, o valor de 1% corresponde a 1 N.m, sendo, portanto, o valor limite para que seja realizado um ajuste neste sistema de medição.

A fim de verificar uma correlação entre o tempo em anos com o  $E_{mav}$ , foi utilizado o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (R), através do software MINITAB 19, obtendo-se o valor de  $R = 0,98$ . A Figura 7 apresenta o gráfico de dispersão para esta situação. Este valor de R corresponde a uma correlação positiva muito alta, conforme apresentado na Tabela 4 (Heinkle, 2003 apud. Mukaka, 2012).

Figura 7 – Gráfico de dispersão para a correlação entre o tempo de calibração em anos e o erro máximo avaliado em N.m

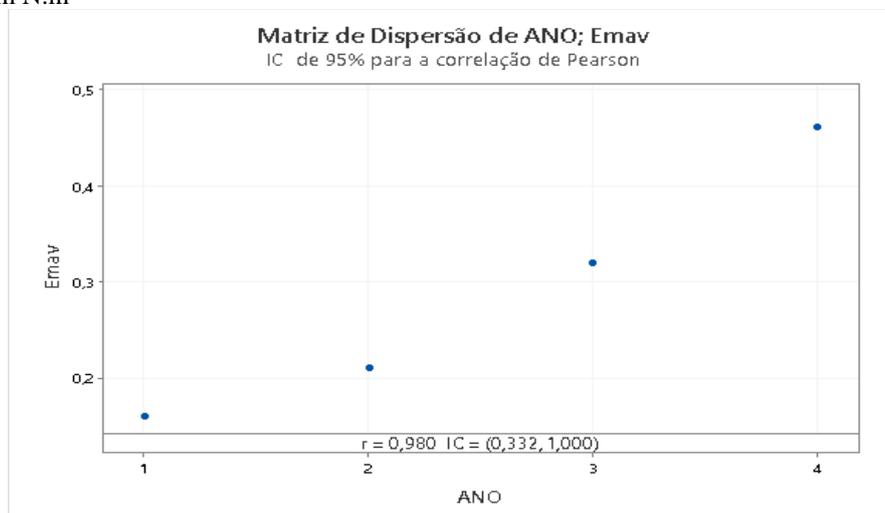
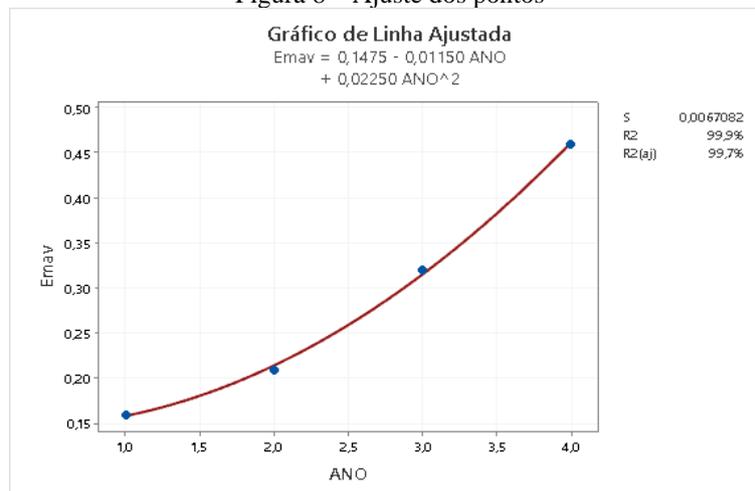


Tabela 4: Regra de ouro da interpretação do tamanho da correlação

Dimensão de correlação	Interpretação
0,90 a 1,00 (-0,90 a -1,00)	Correlação positiva (negativa) muito alta
0,70 a 0,90 (-0,70 a -0,90)	Correlação positiva (negativa) alta
0,50 a 0,70 (-0,50 a -0,70)	Correlação positiva (negativa) moderada
0,30 a 0,50 (-0,30 a -0,50)	Correlação positiva (negativa) baixa
0,00 a 0,30 (-0,00 a -0,30)	Correlação insignificante

Utilizando análise de regressão para se obter uma curva que melhor se ajuste ao tempo x  $E_{mav}$ , o melhor ajuste foi obtido através da regressão polinomial de grau 2, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Ajuste dos pontos



A Eq. (5) apresenta a equação para o  $E_{mav}$  em função do tempo de recalibração em anos.

$$E_{mav} = 0,1475 - (0,01150 \cdot \text{ANO}) + (0,02250 \cdot \text{ANO}^2) \quad (5)$$

Considerando  $E_{mav} = y$  e  $\text{ANO} = x$ , a Eq. (5) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$y = 0,1475 - (0,01150 \cdot x) + (0,02250 \cdot x^2) \quad (6)$$

Para se obter uma estimativa do tempo em anos em que  $y = 1$ , ou seja, o erro máximo avaliado alcance o seu limite, basta substituir o valor de  $y$  na Eq. (6), obtendo-se a Eq. (7).

$$0,02250.x^2 - 0,01150.x - 0,8525 = 0 \quad (7)$$

A solução da Eq. (7) nos leva a uma estimativa de que a necessidade de ajuste acontecerá em aproximadamente 6,42 anos, ou seja, 6 anos, 5 meses e 1 dia.

## 5 CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos para a célula de torque, verificou-se que o método A1 apresentou o maior intervalo de calibração e o método A2 apresentou o menor intervalo. Por sua vez, o método da Resposta Incremental apresentou um resultado intermediário, porém mais realístico pois ele leva em consideração o histórico das calibrações, ou seja, a calibração anterior possuindo uma influência na atual, além de também levar em consideração o nível de confiança do processo.

Nesse caso específico, percebe-se que a diferença entre o método A1 e o MRI é de apenas três meses, não sendo indicado se adotar o método A1, eventualmente quando se necessita redução de custos, uma vez que não seria indicado se correr o risco devido a uma possível perda na confiabilidade. Por outro lado, a adoção do método A2 o qual geraria uma maior confiabilidade, por ser um intervalo menor, não se faz necessário uma vez que o MRI por considerar mais parâmetros relacionados ao processo acaba sendo mais realístico e, além disso, gera um custo menor em relação ao método A2.

O uso do software AIC possibilita a obtenção imediata dos intervalos de calibração e, por meio desse sistema, tem-se a comparação rápida entre os três métodos, sendo, portanto, de fácil aplicação na indústria e laboratórios em geral.

Por intermédio da regressão polinomial foi possível se ter uma previsão do tempo necessário a realização de um ajuste na célula de torque. Esse estudo garante às organizações uma previsibilidade dos recursos necessários a tal ajuste, a realização desse ajuste com calibração que envolve além dos custos de ajuste e de calibração, os custos referentes ao transporte, além do fato do laboratório em questão ficar sem realizar os serviços de calibração de torquímetro.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 9001. Sistemas de gestão da qualidade - requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, Rio de Janeiro, 2015.

ALBANO, F. D.; CATEN, C. S. T. Proficiency tests for laboratories: a systematic review. *Accreditation and Quality Assurance*. Berlin, v. 19, p. 245-257, 2014.

Bare, A. Simplified Calibration Interval Analysis. NCSL International Workshop and Symposium, 2006.

Castrup, H. & Johnson, K. M. Techniques for Optimizing Calibration Intervals. Presented at the ASNE Test & Calibration Symposium, Arlington, December 1994.

COUTO, P.; OLIVEIRA, L.; OLIVEIRA, J.; SILVA, W.; SOARES, R. Comparação intralaboratorial do Lapre-Inmetro na faixa de medição de 1,4 kPa a 7 MPa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METROLOGIA, 5., Salvador, 2009.

DUNHAM, P. C. C. E MACHADO, M. método de alteração de intervalos entre calibrações. Enqualab, 2008. Congresso da Qualidade em Metrologia Rede Metrológica do Estado de São Paulo – REMESP. Junho 2008.

DRYER, F. J. Análise de intervalo de calibração de instrumentos de medição: Estudo de caso entre empresas de Panambi. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Panambi, 2014.

FABRÍCIO, D. A. K. Garantia da Qualidade de Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 2015.

FERNANDES, W. D. A metrologia como elemento básico da qualidade. UNIP, 2010.

FREITAS, M. M. S. et al. Aplicação dos métodos A1, A2 e Schumacher no ajuste do intervalo de calibração de célula de torque. Congresso Internacional de Metrologia Mecânica (CIMMEC), FORTALEZA, CEARÁ, 2017.

IBGE, Produto Interno Bruto - PIB, 2020. <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>> acesso em 05/04/2021.

ILAG - G 24 - Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments. OIML D 10. International Organization of Legal Metrology, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. DOQ-CGCRE-008: orientação sobre validação de métodos analíticos. Brasília: Coordenação Geral de Acreditação, Revisão 03, fev. 2010.

ISO 7870-1. Control charts – part 1: General guidelines. ISO/TC 69 applications of statistical methods, 2014.

ISO 7870-2. Control charts – part 2: Shewhart control charts. ISO/TC 69 applications of statistical methods, 2013.

ISO/ABNT NBR 10012-1. Requisitos de garantia da qualidade para equipamentos de medição – Parte 1: Sistema de comprovação metrológica para equipamentos de medição. ABNT, Rio de Janeiro, 1993.

LIMA, M. P. S. e SOUSA, A. A. G. Comparação interlaboratorial como mecanismo de validação de resultados de calibração de manômetros analógicos até 1000 psi. V. 1, Edição 99. Pp. 10-13. Revista Analytica. 2019.

MARQUES, A.; ALVES, J.; COSTA, P.; BARROS, W. Comparação interlaboratorial de métodos de verificação de máquinas de medir por coordenadas (MMC). CONGRESSO INTERNACIONAL DE METROLOGIA MECÂNICA, 1., Rio de Janeiro, 2008.

Mukaka, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. Malawai Medical Journal. PMC 3576830, 2012.

NBR ISO/IEC 17025. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, Rio de Janeiro, 2017.

NCSL, National Conference of Standards Laboratories, "Establishment and Adjustment of Calibration Intervals", Recommended Practice n. ° 1, Abril. 2010.

NCSL, National Conference of Standards Laboratories, "Establishment and Adjustment of Calibration Intervals", Recommended Practice n. ° 1, Novembro. 1989.

NOVASKI, O. e FRANCO, S. M. Comparação entre métodos para estabelecimento e ajuste de intervalos de calibração. Sociedade Brasileira de Metrologia. Metrologia 2000 – São Paulo.

NOVASKI, O. e FRANCO, S. M. Os métodos para ajustar os intervalos de calibração. Revista Metrologia & Instrumentação, fevereiro de 2003.

OLIVEIRA, J. E. F. de. A metrologia aplicada aos setores industrial e de serviços: principais aspectos a serem compreendidos e praticados no ambiente organizacional. Ed. Mais Gráfica. Brasília, 2008.

PORTELLA, W. Ajuste da frequência de calibração de instrumentos de processo – foco na indústria farmacêutica. Metrologia 2003, Recife, 2003.

SARAIVA, C. P. Otimização da Periodicidade da Calibração. VI SEMINÁRIO RIO-METROLOGIA, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2008.

TAMS - Technical Requirements for Calibration Interval Establishment for Test and Monitoring Systems. Navy Metrology Engineering Center, California, 1986.

TRINDADE, C. F.; SANTOS, C. M. A. e CHAVES, A. S. Análise dos Métodos Tradicionais para Escolha da Periodicidade na Calibração de Instrumentos: Estudo de Caso. XX Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência, outubro, 2016.

Wyatt, D. W. & Castrup, H. T. Managing Calibration Intervals. Presented at the NCSL 1991 Annual Workshop & Symposium, Albuquerque, August 1991.