

## MÉTODO DE ALTERAÇÃO DE INTERVALOS ENTRE CALIBRAÇÕES

*Paulo César da Costa Lino Dunham*<sup>1</sup>, *Marcio Machado*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Petrobras/UM-AM, Manaus, Brasil, pdunham@petrobras.com.br, paulo.dunham@gmail.com

<sup>2</sup> Auna, Rio de Janeiro, Brasil, Marcio@auna.com.br

**Resumo:** A qualidade de um instrumento de medição consiste em apresentar resultados com a confiabilidade metrológica requerida, em função do processo de medição que esta sendo realizado; dessa forma, os dispositivos de medição devem possuir características metrológicas que atendam aos requisitos metrológicos dos processos nos quais estão inseridos, tais como: erro máximo, incerteza, resolução, estabilidade, robustez, etc. Todo instrumento, por melhor que seja, apresenta perda de suas características metrológicas ao longo do tempo, o que requer a determinação de sua periodicidade de calibração e o conseqüente ajuste da mesma, sejam baseados em critérios bem estabelecidos, que possam garantir a confiabilidade metrológica dos resultados nas medições desse instrumento, minimizando o investimento com calibrações. Este trabalho, visa descrever um método para ajuste de intervalos de calibração de instrumentos, baseado no seu comportamento ao longo do tempo e análise de suas tendência ao longo de diversas calibrações, alterando o intervalo entre as calibrações, antes que possa ocorrer não conformidade, devido a medições com o dispositivo fora de suas especificações, buscando, com isso, garantir a confiabilidade metrológica, maximização da periodicidade de calibração e aumento da produtividade devido a elevação da qualidade no controle dos processos.

**Palavras chave:** Confiabilidade metrológica, ciclos de calibração, periodicidade de calibração, metrologia.

### 1. INTRODUÇÃO

Os processos de estabelecimento e ajuste de intervalos entre calibrações, é um elemento de capital importância nos sistemas de gestão de medições e necessários para obtenção da confiabilidade metrológica.

Varias normas e especificações, estabelecem como requisito a calibração dos dispositivos de medição em intervalos adequados, porém, não definem claramente o que seja intervalo adequado. No entanto, não é difícil concluir, que os dispositivos de medição, devem ser mantidos em uma condição confiável, dentro do período entre calibrações, ou seja, que seu erro máximo não alcance um valor que leve o dispositivo a uma condição de falha, e por conseguinte, realizar medições com erros demasiados.

Algumas técnicas para ajuste de intervalos entre calibrações estão disponíveis em literatura, e trabalhos

apresentados em eventos nacionais ou internacionais, porém, em sua grande maioria, são baseadas na técnica dos atributos, ou seja, na condição de conforme ou não conforme por ocasião do recebimento do instrumento para calibração periódica.

Apresenta-se nesse trabalho, uma metodologia que pode ser utilizada para ajuste dos intervalos entre calibrações, que busca prever a condição futura do dispositivo, tendo como base o seu histórico ao longo dos diversos ciclos realizados.

### 2. MÉTODOS PESQUISADOS

A seguir, trata-se resumidamente de alguns métodos práticos existentes, utilizados para ajuste dos intervalos entre calibrações.

#### 2.1. Método A1

Esse método propõe o ajuste do intervalo atual, em função do resultado do estado de conformidade do dispositivo; o intervalo pode ser estendido em 10%, caso os desvios estejam dentro das tolerâncias e reduzir em 45%, caso o dispositivo seja encontrado fora de suas tolerâncias.

#### 2.2. Método A2

Esse método também é baseado no estado de conformidade do instrumento, porém inclui o conceito de amplitude do desvio, com relação à tolerância previamente estabelecida. As ações recomendadas em função da situação do estado do instrumento no recebimento, encontram-se na tabela [1] abaixo.

**Tabela 01: Ações recomendadas pelo método A2. Dv significa desvio e Tol tolerância do dispositivo.**

Cod	Situação	Ação
0	$Dv \leq Tol$	Estender 1,81%
1	$Tol < Dv < 2.Tol$	Diminuir 12,94%
2	$Dv > 2.Tol$	Diminuir 20,63%

#### 2.3. Método A3

O ajuste do intervalo é realizado baseado, nos resultados apresentados na última e nas duas calibrações anteriores, considerando, por conseguinte, o histórico do instrumento. Através do estado da conformidade obtido com relação às tolerâncias estabelecidas, o dispositivo recebe a classificação dentro ou fora. Em função desses resultados, o intervalo pode ser estendido, mantido ou reduzido. A tabela [2] apresenta alguns exemplos de ações a serem tomadas,

em função de alguns resultados encontrados nas três intervenções consideradas.

**Tabela 02: Ações para estabelecimento de ajuste segundo o método A3.**

Ação	Atual	Última	Anterior
<b>Permanecer</b>	Dentro	Novo	-
	Dentro	Fora	Novo
	Dentro	Fora	Dentro
	Dentro	Dentro	Fora
	Dentro	Fora	Fora
	Fora	Novo	-
	Fora	Dentro	Novo
	Fora	Dentro	Dentro
<b>Estender</b>	Dentro	Dentro	Novo
	Dentro	Dentro	Dentro
<b>Reduzir</b>	Fora	Dentro	Fora
	<b>Redução drástica</b>	Fora	Fora
Fora		Fora	Dentro
Fora		Fora	Fora

Pode ser verificada na tabela [2], a existência de uma ação de redução drástica; a mesma é necessária, quando se observa a necessidade de tomar ações preventivas e conservativas, contra futuras não-conformidades. A tabela [3] apresenta alguns exemplos de ajustes em função dos intervalos atuais.

**Tabela 03: Ajustes sugeridos pelo método A3 (dias).**

Intervalo atual	Estender	Reduzir	Reduzir drasticamente
35	70	35	35
70	105	35	35
105	140	70	70
140	210	105	70
175	245	140	105
210	315	175	105
245	350	210	140
280	420	245	140
315	420	280	175
350	525	315	175

Analisando a tabela [3], verifica-se que os percentuais de ajustes são variáveis em função da atual periodicidade. Com o intervalo atual de 175 dias o aumento desse intervalo será de 40%, a redução normal de 20% e a redução drástica de 40%; já com a frequência atual de 350 dias o aumento será de 50%, a redução normal de 10% e a redução drástica de 50%.

#### 2.4. Método A4

Esse método, embora também utilize o conceito do estado de conformidade com que o dispositivo é encontrado na calibração, considera também o nível de confiança desejado e o número de ciclos de calibração já executados, de acordo com as equações [1], [2] e [3], abaixo.

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

$$a_m = \frac{c}{m + 5} \quad (2)$$

$$c = \frac{I_0}{-R \ln(r)} \quad (3)$$

Onde:

$I_m$  = Periodicidade atual;

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

$m$  = Número de ciclos de calibração

$R$  = Nível de confiança

$Y_m = 1$  para conforme ou  $Y_m = 0$  para não conforme.

#### 2.5. Método Schumaker

Esse método é semelhante ao método A3, porém acrescenta o conceito de instrumento avariado. Além disso, para estender os intervalos entre calibrações, são necessárias pelo menos quatro ciclos. As tabelas [4] e [5] apresentam exemplos desse método, onde tem-se os seguintes códigos: C-dentro da conformidade, F-Fora da conformidade, A-Avariado, P-Permanecer, E-Estender, D-Diminuir e M-Máxima diminuição.

**Tabela 04: Ações para o estabelecimento de ajuste segundo o método de Schumaker**

Ciclos anteriores	Condição no recebimento		
	A	F	C
CCC	P	D	E
NCC	P	D	E
ACC	P	D	P
CN	M	M	P
CA	M	M	P
NC	P	M	P
NN	M	M	P
NA	M	M	P
AC	P	D	P
NA	M	M	P
AA	M	M	P

**Tabela 05: Ajustes sugeridos pelo método Schumaker**

Intervalo atual	Estender	Reduzir	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

No método Schumaker também se verifica a existência de uma ação de máxima redução, semelhante a redução drástica do método A3.

Analisando a tabela [5] verifica-se que os percentuais são variáveis em função da atual periodicidade. Com o intervalo atual de 175 dias o aumento desse intervalo será 16%, a redução normal de 8% e a redução drástica de 36%;

já com a frequência atual de 350 dias o aumento será de 4%, a redução normal de 10% e a redução drástica de 46%.

### 2.6. Método do Gráfico de Controle

O gráfico de controle permite identificar o momento em que um processo esta saindo do controle, detectando as causas atribuídas. Nesse método, são definidos os pontos de calibração que serão avaliados em todas as demais intervenções. A partir dos resultados obtidos da tendência central e dispersão, em comparação com critérios estabelecidos, toma-se a decisão de alterar ou não a periodicidade.

### 2.7. Método do Histórico

Os instrumentos são agrupados por similaridade e de mesmo nível de confiabilidade. A análise para ajuste do intervalo entre calibrações é realizada para todo o grupo, baseando-se na taxa de não conformidade encontrada no mesmo.

## 3. MÉTODO PROPOSTO

O ajuste da frequência entre calibrações é realizado levando-se em consideração o histórico, a tendência e o comportamento do instrumento ao longo de sua vida. Podem ser considerados, por sua vez, dois aspectos em conjunto para a tomada de decisão, a respeito da manutenção ou ajuste da atual frequência entre calibrações.

Através dos desvios encontrados nos resultados das ultimas calibrações, utiliza-se a ferramenta estatística de regressão, para estimar o tempo previsto para falha do dispositivo de medição, relacionando-o com o período previsto para a próxima calibração, e definir o ajuste a ser aplicado no intervalo entre calibrações. Através do recurso gráfico, visualiza-se o comportamento do instrumento ao longo do tempo, de forma a ter uma indicação visual de sua estabilidade temporal. Juntando essas duas informações, o gestor pode estabelecer a nova de frequência de calibração, considerando também os fatores consequência e risco para falha.

### 3.1. Pontos de avaliação

O primeiro passo para utilização da metodologia, consiste em estabelecer os pontos da escala do instrumento, onde as avaliações serão realizadas, pois não é recomendado comparar resultados históricos em pontos diferentes, pois os erros e a tendência podem variar em função desses pontos, quer seja por características inerentes ao instrumento, ou devido a uso diferenciado ao longo da escala. Nessa seleção, devem ser levados em consideração a linearidade, a faixa de utilização do instrumento, a região mais utilizada, dados históricos, caso existentes, entre outros requisitos. Resumidamente, esses pontos devem estar dentro da faixa de utilização do instrumento e apresentar à maior criticidade na utilização do mesmo. Caberá ao gestor do sistema metrológico, definir tais pontos. É importante, que se obtenham informações operacionais dos usuários dos instrumentos, antes da definição de tais pontos.

Em algumas situações, o processo pode ser iniciado quando já existirem históricos de calibração dos respectivos instrumentos. É provável que as calibrações passadas, tenham sido realizadas em pontos diferentes daqueles que

foram selecionados. Nessas situações, devem ser determinados os erros nos pontos escolhidos considerando a curva de calibração do instrumento, construída a partir de uma regressão, ou utilizando-se do recurso de interpolação entre os pontos imediatamente superior e imediatamente inferior ao ponto de interesse.

### 3.2. Limite de Erro Aceitável (Ema)

Para cada ponto selecionado, torna-se necessário a determinação dos respectivos limites de erro máximo aceitável. Esses limites podem ser estabelecidos, considerando requisitos de regulamentos, normas técnicas, orientações de fabricantes, características do processo, requisitos do cliente, etc. Quando for utilizada a tolerância do processo, como requisito para o estabelecimento do erro máximo aceitável, pode-se utilizar a equação [1], abaixo:

$$Ema = \frac{Tp}{Fc} \quad (1)$$

Onde,

Tp=Tolerância do processo;

Fc=Fator de confiabilidade (Valor entre 3-10).

### 3.3. Limites de ajuste

Os limites de ajuste consistem em valores que determinam as interfaces entre as regiões estender/permanecer e permanecer/reduzir. Esses limites são determinados, com base em fatores relativos aos erros máximos aceitáveis, de cada ponto previamente selecionado, e serão chamados de Nep para o fator que define o limite estender/permanecer e Npr para o limite permanecer/reduzir. Para exemplificar, seja Nep=0,5 e Npr=0,8, indica:

- A periodicidade pode ser estendida se o tempo previsto para a próxima calibração ficar abaixo de 50% do tempo estimado para falha;
- A periodicidade pode ser mantida se o tempo previsto para a próxima calibração ficar entre 50% a 80% do tempo estimado para falha;
- A periodicidade deve ser reduzida se o tempo previsto para a próxima calibração ficar acima de 80% do tempo previsto para falha.

100%.Tpf	Área Reduzir
80%.Tpf	Área permanecer
50%.Tpf	Área estender
0%	

Figura 01 – Interfaces estender/permanecer e permanecer/reduzir, onde Tpf significa tempo para falha.

Para avaliar o instrumento, deve-se estimar o tempo previsto para falha, considerando a sua curva de regressão, baseada nos dados históricos, obtidos nas calibrações até o momento realizadas.

O próximo passo consiste em dividir as regiões estender e reduzir em sub-áreas. O número e valor de cada sub-área pode variar em função de análises e estudos realizados pelo responsável do sistema de gestão de medição. Também deve ser estabelecido, o limite da relação entre tempo previsto para a próxima calibração e tempo estimado para falha, acima do qual o instrumento deve ser retirado de operação e substituído.

### 3.4. Fatores de alteração

Esses fatores, consistem em valores numéricos que serão multiplicados pela periodicidade atual, para determinar o novo intervalo entre calibrações. Os valores desses fatores devem ser determinados pelo gestor do processo, tendo como base estudos e análises realizadas.

A figura [2] abaixo, apresenta o resultado do estudo de um instrumento, que teve a área estender e reduzir divididas em quatro sub-níveis. A área estender esta formada pelos sub-níveis E1 a E4, a área reduzir pelos sub-níveis R1 a R4 e a área permanecer representada pelo código P. Verifica-se na figura [2], que o sub-nível E4 representa uma relação tempo previsto para a próxima calibração por tempo estimado para falha de no máximo 20%, sugerindo um fator de alteração igual a “3”; ou seja, a periodicidade pode ser triplicada. Caso essa relação fique entre 40% a 50%, a periodicidade pode ser estendida 1,5 vezes a atual; caso a relação esteja entre 50% e 80% deve ser mantida, entre 90% e 100% deve ser reduzida para 0,8 do atual. Nos sub-níveis R2 e R1 verifica-se que a periodicidade prevista para a próxima calibração é superior ao tempo previsto para falha, indicando que o instrumento deverá falhar antes da próxima calibração caso seja mantido a periodicidade atual. Nesse caso, verifica-se uma redução significativa do atual intervalo entre calibrações. Observa-se em R1 o limite de 150%, ou seja, caso a relação tempo previsto para a próxima calibração por tempo estimado para falha seja superior a esse valor, o instrumento não deve ter seu intervalo ajustado e deve ser substituído por um outro de melhor confiabilidade.

Sub-nível	RTF	FA
E4	20%	3,0
E3	30%	2,5
E2	40%	2,0
E1	50%	1,5
P	80%	1,0
R4	90%	0,8
R3	100%	0,5
R2	130%	0,3
R1	150%	0,1

Figura 02 – Tabela correlacionando a relação tempo previsto para próxima calibração e tempo estimado para falha contra fator de alteração do intervalo atual.

### 3.5. Acompanhamento histórico

O acompanhamento histórico é realizado com base nos resultados das calibrações passadas. É necessário obter a data de realização da calibração, para calcular o tempo entre calibrações e tempo acumulado desde o início do processo de avaliação.

Para facilitar o acompanhamento, é recomendado construir uma tabela semelhante a da figura [3], abaixo, para cada ponto avaliado.

Ciclo	Data	T	T(ac)	Dv	Ic	Ica	Aj	Dvr	R
1	13/08/01	0	0	0,050	0,000	0,000	0,040	0,010	X
2	12/12/02	486	486	0,040	0,030	0,030	0,000	0,010	1,00
3	16/04/04	491	977	0,060	0,050	0,080	0,000	0,030	0,99

Figura 03 – Tabela de acompanhamento do histórico de calibração

Lengenda:

Data: Data de realização da calibração.

T: Espaço de tempo medido entre as duas últimas calibrações, calculado pela diferença entre as datas nas quais foram realizadas.

T(ac): Tempo acumulado, calculado pelo somatório do valores da coluna T.

Dv: Desvio ou erro encontrado no ponto considerado.

Ic: Crescimento do desvio atual em relação ao anterior.

Ica: Crescimento acumulado até o momento desde o início do processo.

Aj: Ajuste realizado no instrumento para corrigir ou diminuir o desvio encontrado.

Dvr: Desvio remanescente após a aplicação do ajuste.

R: Coeficiente de correlação

A tabela da figura [3], corresponde a um calibrador de pressão, onde o processo foi iniciado no dia 13-08-2001 quando o instrumento apresentou o erro de 0,050psi<sup>1</sup>. O instrumento foi submetido a ajuste, ficando com um erro remanescente de 0,010psi. No dia 12-12-2002, 486 dias após a calibração anterior, o instrumento foi submetido à nova calibração, apresentando um erro de 0,040psi e incremento de 0,030psi com relação ao erro remanescente na calibração anterior. Novamente o instrumento foi submetido a ajuste, ficando desta feita com um erro remanescente de 0,010psi. O instrumento foi novamente submetido à calibração no dia 16-04-2004, 491 dias após a calibração anterior e 977 dias a partir da primeira calibração. Nessa nova campanha, o instrumento apresentou um erro de 0,060psi ou seja, um incremento de 0,050psi com relação a calibração passada. Após o ajuste, o instrumento ficou com um erro remanescente de 0,030psi. Verifica-se também o incremento acumulado de 0,080 psi.

Esses dados serão utilizados para a determinação da vida residual estimada para o instrumento, em conjunto com o incremento necessário para alcançar o erro máximo aceitável. A coluna R corresponde ao fator de correlação, que indica o grau de correlação entre o tempo e o incremento do erro. Quanto mais próximo de ±1, mais forte a correlação, sendo crescente se “R” for positivo e decrescente se “R” for negativo.

### 3.6. Tempo previsto para falha

Para determinar a estimativa da vida residual do instrumento, constrói-se uma equação relacionado-se o incremento com o tempo, baseando-se nos dados levantados, de acordo com a equação [2] abaixo:

$$T_{pf} = a.Icf + b \quad (02)$$

Onde T<sub>pf</sub> é o tempo para falha Icf o incremento necessário para alcançar o erro máximo aceitável, “a” e “b” os coeficientes angular e linear determinados pela ferramenta estatística de regressão.

O valor de Icf pode ser determinado pela equação [3] :

$$Icf = Ema - Dvr \quad (03)$$

Os coeficientes angular e linear podem ser calculados pelas equações [04] e [5]:

$$a = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (T_i \cdot Ic_i) - \left( \sum_{i=1}^n T_i \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n Ic_i \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n Ic_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n Ic_i \right)^2} \quad (04)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n T_i - a \sum_{i=1}^n Ic_i}{n} \quad (05)$$

<sup>1</sup> 1psi=6,89476kPa

Pelas equações acima, verifica-se que tendo como base os tempos ( $T_i$ ) entre calibrações e os respectivos incrementos ( $Ic_i$ ) nesses períodos, define-se os coeficientes linear ( $b$ ) e angular ( $a$ ). Determinando o valor do incremento necessário para falha ( $Icf$ ), calcula-se o tempo estimado para falha, isto é, para alcançar o erro máximo aceitável. O incremento em cada período deve ser calculado, subtraindo-se o desvio atual do desvio remanescente da calibração anterior. O desvio remanescente, por sua vez, é calculado após a aplicação de ajuste no instrumento, quando ocorrer.

Podem existir situações, onde o incremento do erro e o tempo não seguem uma relação perfeita; para verificar o grau dessa correlação, utiliza-se o valor de “R”. A figura 04 mostra uma tabela apresentando a interpretação do grau de correlação em função do valor de R.

R	Interpretação
0,00 @ 0,19	Correlação bem fraca
0,20 @ 0,39	Correlação fraca
0,40 @ 0,69	Correlação moderada
0,70 @ 0,89	Correlação forte
0,90 @ 1,00	Correlação muito forte

Figura 04 – Interpretação dos valores de R

### 3.7. Ajuste do novo intervalo

Considerando os limites de ajuste, seus sub-níveis e o fator de alteração, pode ser determinado o novo intervalo entre calibrações, bastando para isso calcular a relação RTF, entre o tempo atual previsto para a próxima calibração e o tempo estimado para falha, de acordo com a equação [6].

$$RTF = \frac{T_{pc}}{T_{pf}} \cdot 100 \quad (06)$$

Onde:

$T_{pc}$ =Tempo previsto para a próxima calibração.

$T_{pf}$ =Tempo estimado para falha.

Exemplificando, um dispositivo que tem seu atual intervalo entre calibração estabelecido em 540 dias, teve o tempo previsto para falha estimado em 1517 dias, ou seja, um RTF de 36%. Considerando a tabela da figura 2, ficaria no sub-nível E2, onde sugere-se que o atual intervalo seja duplicado, sendo estabelecido o valor de 1040 dias, que corresponde a 71,2% do tempo previsto para falha.

### 3.8. Acompanhamento gráfico

Esse recurso de análise consiste na avaliação gráfica do comportamento histórico do instrumento, de forma a fornecer uma ferramenta visual para auxiliar o gestor do processo metrológico.

Verifica-se pelos gráficos das figuras [05] e [06], que o comportamento do erro e seu incremento vêm crescendo linearmente ao longo do tempo, e dessa forma pode-se estimar o erro futuro com boa margem de segurança.

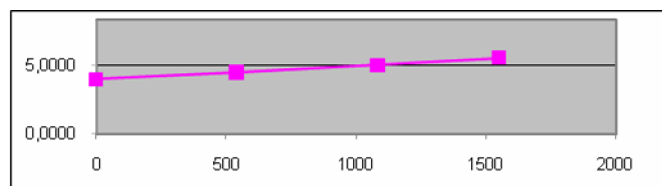


Figura 05 – Gráfico apresentando a tendência do erro de um instrumento ao longo do tempo

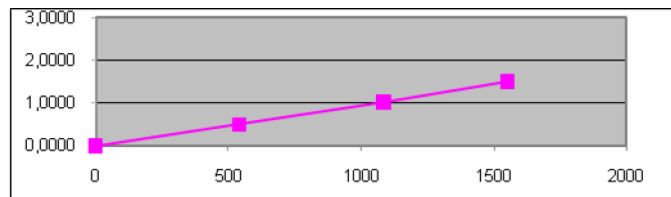


Figura 06 – Gráfico apresentando o incremento do erro de um instrumento ao longo do tempo

### 3.9. Incerteza medição

Evidentemente a incerteza de medição deve ser considerada nesse estudo, levando em consideração que é um parâmetro de importância fundamental na confiabilidade metrológica dos instrumentos. No entanto, sua abordagem deve ser criteriosamente avaliada, pois a metodologia, determina o tempo estimado para falha ( $T_{pf}$ ), baseado-se fundamentalmente nos erros apresentados pelos instrumentos e no tempos entre calibrações.

Todo resultado de uma medição está associado a sua respectiva incerteza. Nas calibrações realizadas nos instrumentos de medição, as incertezas devem ser apresentadas em seus certificados; por conseguinte, se conclui, que é possível obter facilmente as incertezas dos desvios verificados nas calibrações realizadas nos instrumentos.

É importante ressaltar, que a escolha dos laboratórios de calibração é muito importante nesse processo, pois laboratórios diferentes podem transferir incertezas muito variadas. As incertezas transferidas pelos laboratórios, dependendo da sua magnitude, podem ter uma influência significativa na incerteza expandida e dessa forma alterar a curva de tendência do instrumento, levando a conclusões com menor confiabilidade. Assim sendo, a escolha do laboratório que vai executar a calibração do instrumento deve ser realizada com bastante critério, de forma que a incerteza transferida pelo mesmo, tenha a menor influência possível na incerteza total do processo de calibração.

Uma alternativa que é possível utilizar na metodologia, consiste em calcular a incerteza do  $T_{pf}$ , considerando esse parâmetro como uma grandeza de saída, “a”, “b” e “Icf” como grandeza de entrada, sendo “a” e “b” grandezas correlacionadas, conforme equação 7.

$$u(T_{pr}) = \left[ \left( \frac{\partial T_{pr}}{\partial a} u(a) \right)^2 + \left( \frac{\partial T_{pr}}{\partial b} u(b) \right)^2 + \left( \frac{\partial T_{pr}}{\partial Icf} u(Icf) \right)^2 + 2u(a)u(b)r(a,b) + 2u(b)u(Icf)r(b,Icf) + 2u(c)u(Icf)r(c,Icf) \right]^{0,5} \quad (7)$$

Essa alternativa, não obstante, deve ser testada com situações práticas para verificar a sua aplicabilidade. Em alguns cálculos que já foram realizados pelos autores, foi constatado que essas variam significativamente com relação a incerteza de  $Ic$  e por conseguinte a incerteza de  $Dvr$ .

## 4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

A seguir é realizada uma simulação para o ajuste do intervalo de calibração de um calibrador digital de pressão e de um torquímetro de estalo.

### 4.1. Calibrador de pressão

Faixa de operação: 0 @ 5000 psi;  
 Pontos selecionados: P1=1000psi/P2=3000Psi/P3=4500 psi.  
 Erros máximos aceitáveis:  $E_{ma_1}=5\text{psi}/E_{ma_2}=15\text{psi}/E_{ma_3}=22,5\text{psi}$   
 Periodicidade inicial: 360 dias, sendo este o intervalo atual.  
 Limites de ajuste conforme a tabela [06] abaixo:

Tabela 06 – Sub-níveis do calibrador de pressão

Sub-nível	RTF	FA
E4	20%	3,0
E3	30%	2,5
E2	40%	2,0
E1	50%	1,5
P	80%	1,0
R4	90%	0,8
R3	100%	0,5
R2	130%	0,3
R1	150%	0,1

O acompanhamento histórico dos três pontos selecionados, encontram-se resumidos nas tabelas [7], [8] e [9] abaixo:

Tabela 07 – Acompanhamento de ponto P1

Ciclo	Data	T	Tac	Dv	Ic	Ica	Aj	Dvr	R
1	01-01-04	0	0	1,60	0,00	0,00	0,00	1,60	-
2	20-06-05	536	536	2,20	0,60	0,60	0,00	2,20	1,00
3	10-12-06	538	1074	2,90	0,70	1,30	0,00	2,90	1,00
4	23-04-08	500	1574	3,90	1,00	2,30	0,00	3,90	0,96

Tabela 08 – Acompanhamento de ponto P2

Ciclo	Data	T	Tac	Dv	Ic	Ica	Aj	Dvr	R
1	01-01-04	0	0	3,00	0,00	0,00	0,00	3,00	-
2	20-06-05	536	536	5,00	2,00	2,00	0,00	5,00	1,00
3	10-12-06	538	1074	8,00	3,00	5,00	0,00	8,00	0,99
4	23-04-08	500	1574	12,00	4,00	9,00	0,00	12,00	0,99

Tabela 09 – Acompanhamento de ponto P3

Ciclo	Data	T	Tac	Dv	Ic	Ica	Aj	Dvr	R
1	01-01-04	0	0	9,00	0,00	0,00	0,00	9,00	-
2	20-06-05	536	536	11,00	2,00	2,00	0,00	11,00	1,00
3	10-12-06	538	1074	15,00	4,00	6,00	0,00	15,00	1,00
4	23-04-08	500	1574	19,00	4,00	10,00	0,00	19,00	0,95

Através dos dados apresentados nas tabelas acima, calcula-se os tempos estimados para falha em cada ponto, encontrando-se dos seguintes valores:  $T_{pf_1}=695$  dias;  $T_{pf_2}=492$  dias e  $T_{pf_3}=511$  dias. Verifica-se, entretanto, que os pontos P2 e P3 tem seus respectivos tempos para falha, inferiores ao intervalo previsto para a próxima calibração, de onde se conclui que os desvios nesses pontos estarão superiores aos respectivos erros máximos aceitáveis, caso seja mantida a mesma periodicidade de calibração. Verifica-se, ainda, que o ponto P2 é o ponto crítico e será utilizado para determinação do novo intervalo de calibração.

Calculando o Rtf desse ponto, encontra-se o valor de 110% e seleciona-se o sub-nível R2 na tabela 06, o qual recomenda o fator de alteração  $FA=0,3$ . O novo intervalo fica então estabelecido em 162 dias, conforme abaixo:

$$\begin{aligned} Niv &= FA \cdot Tpc; \\ Niv &= 0,3 \cdot 540; \\ Niv &= 162 \text{ dias,} \end{aligned}$$

Esse intervalo entre calibração corresponderá a 33% do tempo para falha. O gestor do processo, porém, poderá

optar por um intervalo de 180 dias para facilitar a gestão, correspondendo a 37% do tempo para falha.

#### 4.1. Torquímetro de estalo

Faixa de operação: 750 @ 2000 N.m;  
 Pontos selecionados: P1=1000Nm; P2=1400Nm e P3=1800Nm  
 Erros máximos aceitáveis:  $E_{ma_1}=40\text{Nm}$ ,  $E_{ma_2}=56\text{Nm}$  e  $E_{ma_3}=72\text{Nm}$   
 Periodicidade inicial: 360 dias, sendo este o intervalo atual.

Limites de ajuste conforme a tabela [10] abaixo:

Tabela 010 – Sub-níveis do torquímetro

Sub-nível	RTF	FA
E4	20%	3,0
E3	30%	2,5
E2	40%	2,0
E1	50%	1,5
P	80%	1,0
R4	90%	0,8
R3	100%	0,5
R2	130%	0,3
R1	150%	0,1

O acompanhamento histórico dos três pontos selecionados encontram-se nas tabelas [11], [12] e [13] abaixo:

Tabela 11 – Acompanhamento de ponto P1

Ciclo	Data	T	T(ac)	Dv	Ic	Ica	Aj	Dvr	R
1	01-01-04	0	0	5	0	0	0	5	-
2	20-06-05	536	536	9	4	4	0	9	1,00
3	10-12-06	538	1074	15	6	10	0	15	0,99
4	23-04-08	500	1574	21	6	16	0	21	0,92

Tabela 12 – Acompanhamento de ponto P2

Ciclo	Data	T	T(ac)	Dv	Ic	Ica	Aj	Dvr	R
1	01-01-04	0	0	10	0	0	0	10	-
2	20-06-05	536	536	15	5	5	0	15	1,00
3	10-12-06	538	1074	21	6	11	0	21	1,00
4	23-04-08	500	1574	28	7	18	0	28	1,00

Tabela 13 – Acompanhamento de ponto P3

Ciclo	Data	T	T(ac)	Dv	Ic	Ica	Aj	Dvr	R
1	01-01-04	0	0	11	0	0	0	11	-
2	20-06-05	536	536	18	7	7	0	18	1,00
3	10-12-06	538	1074	27	9	16	0	27	0,95
4	23-04-08	500	1574	35	8	24	0	35	0,83

Com os dados das tabelas acima, encontramos os seguintes tempos estimados para falha:  $T_{pf_1}=1691$  dias;  $T_{pf_2}=1957$  dias;  $T_{pf_3}=2347$  dias, verificando os existe um folga considerável entre o atual intervalo de calibração e os tempos estimados para falha do instrumento, indicando a possibilidade de estender o atual intervalo de calibração. Verifica-se ainda que o ponto P1 é o ponto crítico e será utilizado para determinação do novo intervalo entre calibrações.

Determinando o Rtf desse ponto, encontra-se o valor de 21,3% selecionando o sub-nível E3 que recomenda o fator de alteração  $FA=2,5$ . O novo intervalo fica então estabelecido em 900 dias, conforme abaixo:

$$\begin{aligned} Niv &= FA \cdot Tpc \\ Niv &= 2,5 \cdot 360 \\ Niv &= 900 \text{ dias} \end{aligned}$$

O novo intervalo entre calibração corresponderá a 53,2% do tempo para falha.

#### **4.3. Análise dos resultados**

Pelos estudos realizados, verifica-se no primeiro caso, que o tempo estimado para falha é inferior ao intervalo previsto para a próxima calibração, indicado que o erro do instrumento poderá ficar acima do erro máximo aceitável, se for mantida a mesma periodicidade de calibração. Além disso, as metodologias tradicionais aprontariam para um aumento desse intervalo. A metodologia apresentada recomendou a redução do intervalo de calibração, prevenindo uma possível falha do processo. No segundo caso, a metodologia recomendou o aumento do intervalo de entre calibrações, diminuindo os custos com as mesmas e mantendo boa margem de segurança.

#### **5. CONCLUSÃO**

A maioria dos métodos tradicionais baseia-se no estado de conformidade do instrumento no momento da calibração, sem considerar o comportamento do instrumento ao longo de sua vida. Esses métodos apenas prevêm a redução dos intervalos de calibração quando o instrumento encontra-se no estado de não conformidade, desta forma, podendo trazer problemas relacionados com erros de medições. O método proposto, utilizando a ferramenta estatística de regressão, considera parâmetros tais como: estabilidade, linearidade, tendência, incerteza de medição, etc., e pode ser classificado como um método preventivo/preditivo, pois as ações de ajuste são tomadas previamente, antes que possíveis erros de medição possam ocorrer. Além disso, pode estender os intervalos de calibração com boa margem de segurança, minimizando as possibilidades de falha durante o período estabelecido e diminuindo os custos com calibração.

## REFERÊNCIAS

- [1] BIPM, IEC, IFCC, ISSO, IUPAC, OIML, “Guia para Expressão de incerteza de Medição”. 2.ed Rio de Janeiro, 1998.
- [2] C. P. Saraiva, "Ferramentas para ajustar a periodicidade de calibração", Rede Metrológica de São Paulo, ENQUALAB-2005, São Paulo, 2005.
- [3] O. Novaski, S. M. Franco, I. L. Martins "Metodologia para estabelecimento e ajuste entre intervalos de calibração", Sociedade Brasileira de Metrologia, METROLOGIA-2003, Recife, 2003.
- [4] W. Portella, "Ajuste da frequência de calibração de instrumentos de processo – Foco na indústria farmacêutica", Sociedade Brasileira de Metrologia, METROLOGIA-2003, Recife, 2003.
- [5] O. Novaski, S. M. Franco, "Os métodos para ajustar os intervalos de calibração”.
- [6] L. V. B. Callil, "Uso de ferramentas estatísticas na avaliação do intervalo de calibração de sistemas de medição”; Universidade Federal de Itajubá.
- [7] E. M. Fernandes, "Estatística aplicada”; Universidade do Minho . Braga,1999.
- [8] A. Mendes, P. P. Rosário, “Metrologia & Incerteza de Medição”, Epse Editore, São Paulo, 2005.
- [9] C. A. Flesh, “Metrologia”, Universidade Federal de Santa Catarina”, Florianópolis, 1999