

Guia 21

EXPOSIÇÃO DOS TRABALHADORES ÀS



VIBRAÇÕES – APONTAMENTOS SOBRE



ESTIMATIVA DAS INCERTEZAS DE



MEDIÇÃO



Guia RELACRE 21

EDIÇÃO: SETEMBRO 08

EXPOSIÇÃO DOS TRABALHADORES



ÀS VIBRAÇÕES



APONTAMENTOS SOBRE ESTIMATIVA



DAS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO



FICHA TÉCNICA

TÍTULO:

Guia RELACRE 21

EXPOSIÇÃO DOS TRABALHADORES ÀS

VIBRAÇÕES

APONTAMENTOS SOBRE ESTIMATIVA DAS

INCERTEZAS DE MEDIÇÃO

EDIÇÃO: RELACRE

CAPA: Alda Rosa

ISBN: 978-972-8574-13-0

A presente edição foi elaborada pelo GRUPO DE TRABALHO

da COMISSÃO TÉCNICA RELACRE CTR

“VIBRAÇÕES”

O conteúdo é da responsabilidade dos que colaboraram na sua elaboração.

É intenção da RELACRE proceder à revisão deste documento sempre que se revele oportuno.

Na elaboração da presente edição colaboraram:

Fátima Inglês (<i>coordenadora</i>)	ARSENAL DO ALFEITE
Mário Mateus	ADAI
Paula Santos	A.RAMALHÃO
Francisco Silva	CTCV
Clotilde Lages	dBLAB
Jorge Fradique	DRE-LVT
Ana Sara Macedo	EAPS
Ricardo Fonseca	ECO14
Ana Nogueira	INSA (Lisboa)
Paula Neves	INSA (Porto)
Aristides Chaves	ISQ
José Medina	ISQ
Paulo Silva	Versegura

ÍNDICE

1	PREÂMBULO	1
1.1	OBJECTIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO.....	1
2	REFERÊNCIAS	1
3	SÍMBOLOS E DESIGNAÇÕES	2
4	CÁLCULO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO	2
5	ESTIMATIVA DE INCERTEZA NO ENSAIO DE MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES NO CORPO INTEIRO.....	3
5.1	MODELO MATEMÁTICO	3
5.2	FONTES DE INCERTEZA.....	4
5.3	CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DE INCERTEZA	4
5.4	COMPONENTES DE INCERTEZA	4
5.4.1	Incerteza associada à medição das vibrações.....	4
5.4.2	Incerteza associada ao sistema de medição	5
5.4.3	Incerteza associada à duração da exposição.....	5
5.4.4	Incerteza associada ao arredondamento	6
5.5	CÁLCULO DA INCERTEZA COMBINADA	7
5.6	CÁLCULO DA INCERTEZA EXPANDIDA	7
5.7	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	8
5.8	EXEMPLOS.....	9
6	ESTIMATIVA DA INCERTEZA NO ENSAIO DE MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES NO SISTEMA MÃO-BRAÇO.....	10
6.1	MODELO MATEMÁTICO	10
6.2	FONTES DE INCERTEZA	11
6.3	CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DE INCERTEZA	11
6.4	COMPONENTES DE INCERTEZA.....	11
6.4.1	Incerteza associada à medição das vibrações.....	11
6.4.2	Incerteza associada ao sistema de medição	12
6.4.3	Incerteza associada à duração da exposição.....	13
6.4.4	Incerteza associada à verificação da cadeia de medição.....	13
6.4.5	Incerteza associada à fixação e localização do acelerómetro	14
6.4.6	Incerteza associada ao arredondamento	14
6.5	CÁLCULO DA INCERTEZA COMBINADA	15
6.6	CÁLCULO DA INCERTEZA EXPANDIDA	15
6.7	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	16
6.8	EXEMPLOS.....	17
7	ANEXO: COEFICIENTES DE VARIAÇÃO	18

1 PREÂMBULO

1.1 OBJECTIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

O objectivo do presente documento é o de estabelecer o procedimento a seguir na avaliação da incerteza da medição nos ensaios de medição de vibrações no corpo humano.

As definições e os princípios gerais adoptados na formulação da incerteza são os referidos nos documentos [1], [2] e [3] das referências.

O presente documento destina-se a complementar os referidos princípios gerais, indicando-se as grandezas intervenientes na avaliação da incerteza associada aos resultados das medições.

2 REFERÊNCIAS

[1] EA 4/02 – “Expression of the uncertainty of measurement in calibration”, 1999

[2] EA 4/16 – “Guidelines on the expression of uncertainty in quantitative testing”, 2003

[3] ISO/IEC Guide 98:1995 - “Guide to the expression of uncertainty in measurements”

[4] NP ISO 2631-1: 2007, “Vibrações mecânicas e choque – Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações, parte 1: Requisitos gerais”.

[5] EN ISO 5349-1: 2001, “Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration, part 1: General requirements”.

[6] EN ISO 5349-2: 2001, “Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration, part 2: Practical guidance for measurement at the workplace”.

[7] EN ISO 8041: 2005, “Human response to vibration – Measuring instrumentation”.

[8] VIM – Vocabulário internacional de metrologia, 3ª edição, Dezembro de 2005.

[9] Decreto-Lei 46/2006 de 24 de Fevereiro.

[10] Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro, de Setembro de 2005.

3 SÍMBOLOS E DESIGNAÇÕES

$A(8)$ – Exposição diária às vibrações, expressa em $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

$A(8)_i$ – Exposição às vibrações na tarefa i , expressa em $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

a_{hvi} – Valor total da vibração na tarefa i , expressa em $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

a_{hw_x} , a_{hw_y} , a_{hw_z} – Valores eficazes das acelerações ponderadas em frequência para os eixos x , y e z , respectivamente

a_{wi} - Aceleração eficaz ponderada na tarefa i , expressa em $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

T_0 – Duração de referência de 8 horas (28 800 segundos)

T_i – Duração da exposição às vibrações na tarefa i , em segundos

4 CÁLCULO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Para a estimativa da incerteza de medição poderá ser utilizada a seguinte lista de verificação que descreve os principais passos a seguir no seu cálculo:

- 1) Analisar o método de ensaio; exprimir matematicamente o modelo de modo a especificar a mensuranda em relação às grandezas de entrada;
- 2) Identificar as principais fontes de incerteza;
- 3) Classificar os componentes de incerteza relativamente ao tipo e distribuição;
- 4) Quantificar as incertezas padrão de cada componente;
- 5) Calcular o coeficiente de sensibilidade para cada fonte de incerteza;
- 6) Calcular a incerteza combinada;
- 7) Calcular a incerteza expandida;
- 8) Exprimir o resultado em conjunto com a incerteza expandida associada.

5 ESTIMATIVA DE INCERTEZA NO ENSAIO DE MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES NO CORPO INTEIRO

5.1 MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático para o cálculo de incertezas pode ser descrito pela expressão seguinte:

$$A(8)_{eixo} = \sqrt{\sum [A(8)_i + \delta_{rep} + \delta_{sist} + \delta_{dur}]^2} + \delta_{arred}$$

$$A(8)_i = ka_{wi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}}$$

em que,

δ_{rep} – Componente devido à repetibilidade

δ_{sist} – Componente devido ao sistema de medição

δ_{dur} – Componente devido à duração da exposição

δ_{arred} – Componente devido ao arredondamento

n – Número de exposições parciais às vibrações

$A(8)$ – Exposição diária às vibrações, expressa em $m \cdot s^{-2}$

$A(8)_i$ – Exposição às vibrações na tarefa i , expressa em $m \cdot s^{-2}$

T_i – Duração da exposição às vibrações na tarefa i

T_0 – Duração de referência de 8 horas

k – Factor multiplicativo

a_{wi} - Aceleração eficaz ponderada na tarefa i , expressa em $m \cdot s^{-2}$

(no restante documento, considera-se que o parâmetro a_{wi} já inclui o factor multiplicativo, k)

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wi}^2 T_i}$$

5.2 FONTES DE INCERTEZA

O método de ensaio a utilizar corresponde ao método básico, de acordo com o descrito na norma NP ISO 2631-1 e no anexo II do Decreto-Lei 46/2006 de 24 de Fevereiro.

As fontes de incerteza consideradas neste modelo foram as seguintes:

- Incerteza associada às medições das vibrações;
- Incerteza associada ao sistema de medição;
- Incerteza associada à duração da exposição;
- Incerteza associada ao arredondamento.

5.3 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DE INCERTEZA

Componente	Tipo	Distribuição
Repetibilidade das medições	Tipo A	Normal
Sistema de medição	Tipo B	Rectangular
Duração de exposição	Tipo B	Normal/Rectangular
Arredondamento	Tipo B	Rectangular

5.4 COMPONENTES DE INCERTEZA

5.4.1 INCERTEZA ASSOCIADA À MEDIÇÃO DAS VIBRAÇÕES

Esta fonte de incerteza é caracterizada a partir da dispersão dos valores medidos em pelo menos três medições, efectuadas em condições de repetibilidade, para cada eixo e para cada tarefa. Deste modo é uma incerteza de tipo A, para a qual se admite uma distribuição normal, sendo calculada a partir do desvio padrão experimental da média

$$s(a_w) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (a_{wj} - \overline{a_w})^2}$$

Vem assim para a incerteza padrão:

$$u(x_i) = s(\overline{a_w}) = \frac{s(a_w)}{\sqrt{n}}$$

Onde,

n – número de medições;

a_{wj} - aceleração eficaz ponderada para cada medição, numa dada tarefa.

O coeficiente de sensibilidade é calculado a partir da expressão:

$$\frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{T_i}{T_0} \frac{a_{wi}}{A(8)}$$

5.4.2 INCERTEZA ASSOCIADA AO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Esta fonte de incerteza tem por base o valor do erro máximo de acordo com a EN ISO 8041 (6%). Assim é uma incerteza de tipo B, com distribuição rectangular, calculada a partir da expressão:

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

Onde,

a é o valor do erro máximo (6% do valor medido).

O coeficiente de sensibilidade é calculado a partir da expressão:

$$\frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{T_i}{T_0} \frac{a_{wi}}{A(8)}$$

5.4.3 INCERTEZA ASSOCIADA À DURAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Com base em informação obtida junto de vários elementos da empresa ou por medição directa dos tempos de exposição, é possível estimar o erro associado à duração da exposição, sendo neste caso a incerteza calculada através de uma distribuição normal.

$$u(x_i) = s(\overline{T_i}) = \frac{s(T_i)}{\sqrt{n}}$$

Onde,

n é o número de informações a partir das quais é calculado o tempo de exposição.

Em alternativa, pode ser utilizada a informação dada pela empresa, incluindo uma tolerância associada aos tempos de exposição. Caso esta não seja indicada deve ser utilizado um valor estimado de 4%. A incerteza pode ser estimada por meio de uma distribuição rectangular, a partir da expressão:

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

Onde,

a é o valor do erro considerado para a estimativa da duração da exposição.

O coeficiente de sensibilidade é calculado a partir da expressão:

$$\frac{\partial A(8)}{\partial T_i} = \frac{a_{wi}^2}{2T_0 A(8)}$$

5.4.4 INCERTEZA ASSOCIADA AO ARREDONDAMENTO

A incerteza devida ao arredondamento pode ser estimada por meio de uma distribuição rectangular, a partir da expressão:

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

Onde,

a corresponde a meia divisão do valor final apresentado.

O coeficiente de sensibilidade neste caso tem o valor 1.

Fonte / Componente da Incerteza

INCERTEZA-PADRÃO	Distribuição	Coefficiente de sensibilidade	Incerteza-Padrão $u(x_i)$:
Dispersão das medições (repetibilidade)	Tipo A – Normal	$\frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{T_i}{T_0} \frac{a_{wi}}{A(8)}$	$u(x_i) = s(\overline{a_w}) = \frac{s(a_w)}{\sqrt{n}}$
Sistema de medição	Tipo B - Rectangular		$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$
Duração da exposição	Tipo B – Normal/Rectangular	$\frac{\partial A(8)}{\partial T_i} = \frac{a_{wi}^2}{16A(8)}$	$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$ $u(x_i) = s(\overline{T_i}) = \frac{s(T_i)}{\sqrt{n}}$
Arredondamento	Tipo B - Rectangular	1	$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$

5.5 CÁLCULO DA INCERTEZA COMBINADA

A incerteza combinada pode ser calculada com base na seguinte expressão:

$$u_{combinada}^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u(x_i)^2$$

5.6 CÁLCULO DA INCERTEZA EXPANDIDA

A incerteza expandida é obtida a partir do produto da incerteza combinada pelo factor de expansão, de acordo com:

$$U = k \cdot u_{combinada}(y)$$

$$Y = y \pm U$$

U : incerteza expandida;

k : factor de expansão.

O factor de expansão, k , é obtido a partir do número de graus de liberdade efectivos ν_{eff} , para uma distribuição t de Student, considerando um intervalo de confiança unilateral com uma probabilidade de 95 %.

O número de graus de liberdade efectivos pode ser calculado a partir da expressão de Welch-Satterthwaite:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

Onde $u_i(y)$ é a contribuição para a incerteza padrão associada à estimativa da grandeza y , e v_{eff} é o número de graus de liberdade efectivos.

5.7 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

O resultado do ensaio pode ser expresso habitualmente na forma $y \pm U$. Contudo, para efeitos de comparação com os valores de acção e valor limite legalmente definidos, ao valor calculado deve ser adicionado o módulo da incerteza, $y + U$, com este resultado arredondado para 2 casas decimais.

6 ESTIMATIVA DA INCERTEZA NO ENSAIO DE MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES NO SISTEMA MÃO-BRAÇO

6.1 MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático para o cálculo de incertezas pode ser descrito pela expressão seguinte:

$$A(8) = \sqrt{\sum [A(8)_i + \delta_{rep} + \delta_{sist} + \delta_{dur} + \delta_{loc}]^2} + \delta_{ver} + \delta_{arred}$$

$$A(8)_i = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}}$$

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i}$$

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hw x}^2 + a_{hw y}^2 + a_{hw z}^2}$$

onde:

δ_{rep} – Componente devido à repetibilidade

δ_{sist} – Componente devido ao sistema de medição

δ_{dur} – Componente devido à duração da exposição

δ_{loc} – Componente devido à fixação e localização do acelerómetro

δ_{ver} – Componente devido à verificação da cadeia de medição

δ_{arred} – Componente devido ao arredondamento

n – número de exposições parciais às vibrações;

$A(8)$ – Exposição diária às vibrações, expressa em $m \cdot s^{-2}$

$A(8)_i$ – Exposição às vibrações na tarefa i , expressa em $m \cdot s^{-2}$

T_i – Duração da exposição às vibrações na tarefa i , em segundos;

T_0 – Duração de referência de 8 horas (28 800 segundos);

a_{hvi} – Valor total da vibração na tarefa i , expressa em $m \cdot s^{-2}$

$a_{hw x}$, $a_{hw y}$, $a_{hw z}$ – Valores eficazes das acelerações ponderadas em frequência para os eixos x , y e z , respectivamente.

6.2 FONTES DE INCERTEZA

O método de ensaio a utilizar corresponde ao descrito na norma EN ISO 5349 nas partes 1 e 2 e no anexo I do Decreto-Lei 46/2006 de 24 de Fevereiro.

As principais fontes de incerteza a considerar são:

- Incerteza associada à medição das vibrações;
- Incerteza associada ao sistema de medição;
- Incerteza associada à verificação da cadeia de medição;
- Incerteza associada à duração da exposição;
- Incerteza associada à fixação e localização do acelerómetro;
- Incerteza associada ao arredondamento.

6.3 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DE INCERTEZA

Componente	Tipo	Distribuição
Repetibilidade das medições	Tipo A	Normal
Sistema de medição	Tipo B	Rectangular
Verificação da cadeia de medição	Tipo B	Rectangular
Duração de exposição	Tipo B	Normal/Rectangular
Fixação e localização do acelerómetro	Tipo B	Rectangular
Arredondamento	Tipo B	Rectangular

6.4 COMPONENTES DE INCERTEZA

6.4.1 INCERTEZA ASSOCIADA À MEDIÇÃO DAS VIBRAÇÕES

Esta fonte de incerteza é caracterizada a partir da dispersão dos valores medidos em pelo menos três medições, efectuadas em condições de repetibilidade, para cada eixo e para cada tarefa. Deste

modo é uma incerteza de tipo A, para a qual se admite uma distribuição normal, sendo calculada a partir do desvio padrão experimental

$$s(a_{hv}) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (a_{hvj} - \overline{a_{hv}})^2}$$

Para a determinação da média e do desvio padrão devem ser considerados os valores totais da vibração, a_{hv} .

Vem assim para a incerteza padrão:

$$u(x_i) = s(\overline{a_{hv}}) = \frac{s(a_{hv})}{\sqrt{n}}$$

Onde,

n – número de medições

a_{hvi} – valor total para cada medição, numa dada tarefa

O coeficiente de sensibilidade é calculado a partir da expressão:

$$\frac{\partial A(8)}{\partial a_{hvi}} = \frac{T_i}{T_0} \frac{a_{hvi}}{A(8)}$$

6.4.2 INCERTEZA ASSOCIADA AO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Esta fonte de incerteza tem por base o valor do erro máximo de acordo com a EN ISO 8041 (6%). Assim é uma incerteza de tipo B, com distribuição rectangular, calculada a partir da expressão:

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

Onde,

a é o valor do erro máximo (6% do valor medido).

O coeficiente de sensibilidade é calculado a partir da expressão:

$$\frac{\partial A(8)}{\partial a_{hvi}} = \frac{T_i}{T_0} \frac{a_{hvi}}{A(8)}$$

6.4.3 INCERTEZA ASSOCIADA À DURAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Com base em informação obtida junto de vários elementos da empresa ou por medição directa dos tempos de exposição, é possível estimar o erro associado à duração da exposição, sendo neste caso a incerteza calculada através de uma distribuição normal.

$$u(x_i) = s(\bar{T}_i) = \frac{s(T_i)}{\sqrt{n}}$$

Onde

n é o número de informações a partir das quais é calculado o tempo de exposição.

Em alternativa, pode ser utilizada a informação dada pela empresa, incluindo uma tolerância associada aos tempos de exposição. Caso esta não seja indicada deve ser utilizado um valor estimado de 4%. A incerteza pode ser estimada por meio de uma distribuição rectangular, a partir da expressão:

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

Onde,

a é o valor do erro considerado para a estimativa da duração da exposição.

O coeficiente de sensibilidade é calculado a partir da expressão:

$$\frac{\partial A(8)}{\partial T_i} = \frac{a_{hvi}^2}{16A(8)}$$

6.4.4 INCERTEZA ASSOCIADA À VERIFICAÇÃO DA CADEIA DE MEDIÇÃO

A incerteza associada à verificação da cadeia de medição pode ser estimada pela incerteza associada ao critério de aceitação, a , da verificação da cadeia de medição definido pelo laboratório, por meio de uma distribuição rectangular, a partir da expressão:

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

Para o critério de aceitação, a , deve ser utilizado um valor máximo de 1%.

O coeficiente de sensibilidade nestes casos tem o valor 1.

6.4.5 INCERTEZA ASSOCIADA À FIXAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO ACELERÓMETRO

A incerteza devida à fixação e localização do acelerómetro pode ser estimada através de uma distribuição rectangular, a partir da expressão:

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

Onde a é o valor do coeficiente de variação determinado para diferentes tipos de ferramentas. Em anexo encontra-se uma tabela de valores obtidos pelos laboratórios que constituem a comissão técnica CTR – Vibrações. Para ferramentas que não constem da referida tabela, deve ser utilizado para coeficiente de variação o valor de 15%.

O coeficiente de sensibilidade é calculado a partir da expressão:

$$\frac{\partial A(8)}{\partial a_{hvi}} = \frac{T_i}{T_0} \frac{a_{hvi}}{A(8)}$$

6.4.6 INCERTEZA ASSOCIADA AO ARREDONDAMENTO

A incerteza devida ao arredondamento pode ser estimada por meio de uma distribuição rectangular, a partir da expressão:

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

Onde,

a corresponde a meia divisão do valor final apresentado

O coeficiente de sensibilidade neste caso tem o valor 1.

INCERTEZA-PADRÃO	Distribuição	Coeficiente de sensibilidade	Incerteza-Padrão $u(x_i)$:
Dispersão das medições (repetibilidade)	Tipo A – Normal	$\frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{T_i}{T_0} \frac{a_{wi}}{A(8)}$	$u(x_i) = s\left(\overline{a_w}\right) = \frac{s(a_w)}{\sqrt{n}}$
Sistema de medição	Tipo B – Rectangular		$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$
Verificação da cadeia de medição	Tipo B – Rectangular	1	$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$
Duração da exposição	Tipo B – Normal/Rectangular	$\frac{\partial A(8)}{\partial T_i} = \frac{a_{wi}^2}{16A(8)}$	$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$ $u(x_i) = s\left(\overline{T_i}\right) = \frac{s(T_i)}{\sqrt{n}}$
Fixação e localização do acelerómetro	Tipo B - Rectangular	$\frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{T_i}{T_0} \frac{a_{wi}}{A(8)}$	$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$
Arredondamento	Tipo B - Rectangular	1	$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$

6.5 CÁLCULO DA INCERTEZA COMBINADA

A incerteza combinada pode ser calculada com base na seguinte expressão:

$$u_{combinada}^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u(x_i)^2$$

6.6 CÁLCULO DA INCERTEZA EXPANDIDA

A incerteza expandida é obtida a partir do produto da incerteza combinada pelo factor de expansão, de acordo com:

$$U = k \cdot u_{combinada}(y)$$

$$Y = y \pm U$$

U : incerteza expandida;

k : factor de expansão.

O factor de expansão, k , é obtido a partir do número de graus de liberdade efectivos ν_{eff} , para uma distribuição t de Student, considerando um intervalo de confiança unilateral com uma probabilidade de 95 %.

O número de graus de liberdade efectivos pode ser calculado a partir da expressão de Welch-Satterthwaite:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}}$$

Onde $u_i(y)$ é a contribuição para a incerteza padrão associada à estimativa da grandeza y , e ν_{eff} é o número de graus de liberdade efectivos.

6.7 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

O resultado do ensaio pode ser expresso habitualmente na forma $y \pm U$. Contudo, para efeitos de comparação com os valores de acção e valor limite legalmente definidos, ao valor calculado deve ser adicionado o módulo da incerteza, $y + U$, com este resultado arredondado para 1 casa decimal.

6.8 EXEMPLOS

Estimativa de Incerteza da Medição de Vibrações no Corpo Humano - Sistema Mão-Braço (direito)

Relatório :

Data :

i	Componente	Média m/s ²	Desvio Padrão S	Incerteza Padrão u(x)	Coefficiente Sensibilidade Ci	$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	Graus de Liberdade v
1	Repetibilidade das Medições tarefa 1	0,365	0,013	7,31E-03	1,31E-01	9,15E-07	2
2	Sistema de Medição tarefa 1	-	-	1,26E-02	1,31E-01	2,74E-06	50
3	Duração da Exposição tarefa 1	-	-	4,62E-02	1,19E-02	3,04E-07	50
4	Fixação e localização do sensor tarefa 1	-	-	3,16E-02	1,31E-01	1,71E-05	50
5	Repetibilidade das Medições tarefa 2	1,903	0,084	4,85E-02	3,41E-01	2,73E-04	2
6	Sistema de Medição tarefa 2	-	-	6,59E-02	3,41E-01	5,06E-04	50
7	Duração da Exposição tarefa 2	-	-	2,31E-02	3,25E-01	5,62E-05	50
8	Fixação e localização do sensor tarefa 2	-	-	1,65E-01	3,41E-01	3,16E-03	50
9	Verificação da cadeia de medição	-	-	5,77E-02	1,00E+00	3,33E-03	50
10	Arredondamento	-	-	2,89E-02	1,00E+00	8,33E-04	50
Critério de aceitação da verificação da cadeia de medição (m/s ²) =				0,1	$\sum u_y^2 =$	8,18E-03	1,40E+02
Nº de medições (n) =				3	$u_y =$	9,05E-02	
Sistema de medição (%) =				6			
Erro da estimativa da duração da tarefa 1 (h) =				0,08			
Erro da estimativa da duração da tarefa 2 (h) =				0,04	k =	1,656	
Tempo exposição tarefa 1 (h) =				2	$U = k \times u_y =$	0,15	
Fixação e localização (%) =				15,000			
Arredondamento =				0,05			
Tempo exposição tarefa 2 (h) =				1	Incerteza (U) =	0,15	

Tarefa 1	Medições	Eixo x	Eixo y	Eixo z	a_{nw}	Média (a_{nw})	D.Padrão
Direito	m1	0,303	0,148	0,096	0,351	0,365	0,013
	m2	0,303	0,190	0,111	0,374		
	m3	0,310	0,179	0,093	0,370		
Esquerdo	m1	0,387	0,353	0,302	0,605	0,664	0,067
	m2	0,504	0,423	0,330	0,736		
	m3	0,433	0,389	0,289	0,650		

A(8)1
0,18249

Tarefa 2	Medições	Eixo x	Eixo y	Eixo z	a_{nw}	Média (a_{nw})	D.Padrão
Direito	m1	1,300	0,940	0,830	1,806	1,903	0,084
	m2	1,340	0,876	1,100	1,942		
	m3	1,410	0,954	0,970	1,959		
Esquerdo	m1	1,550	0,977	1,200	2,190	2,332	0,160
	m2	1,670	0,856	1,332	2,301		
	m3	1,840	1,108	1,290	2,505		

A(8)2
0,6727

	A(8)	U	A(8)+U	
Mão-braço direito	A(8):	0,7	0,2	0,9

7 ANEXO: COEFICIENTES DE VARIAÇÃO

Ferramenta	Material	Coefficiente de variação
Serra eléctrica de disco circular	Placa de aglomerado de madeira	16%
Serra tico-tico	Contraplacado	11%
Serra tico-tico	Madeira	10%
Rebarbadora	Aço carbono	31%

O coeficiente de variação é o quociente entre o desvio padrão e o valor médio de uma série de valores medidos.

Últimos guias publicados

- 1** CALIBRAÇÃO DE MATERIAL VOLUMÉTRICO
1995; ISBN 972 - 96727 - 0 - 9
- 2** AUDITORIAS INTERNAS DE LABORATÓRIOS QUÍMICOS
1995; ISBN 972 - 96727 - 1 - 7
- 3** VALIDAÇÃO DE RESULTADOS EM LABORATÓRIOS QUÍMICOS
1996; ISBN 972 - 96727 - 2 - 5
- 4** DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE FORÇAS
1996; ISBN 972 - 96727 - 3 - 3
- 5** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE FORÇAS
1996; ISBN 972 - 96727 - 4 - 1
- 6** ACREDITAÇÃO DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS MICROBIOLÓGICOS
1996; ISBN 972 - 96727 - 5 - X
- 7** ENSAIOS INTERLABORATORIAIS EM QUÍMICA
1996; ISBN 972 - 96727 - 6 - 8
- 8** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DA CALIBRAÇÃO DE MASSAS
1997; ISBN 972 - 96727 - 7 - 6
- 9** ALGUNS EXEMPLOS DE CARTAS DE CONTROLO EM LABORATÓRIOS DE ANÁLISE QUÍMICA
1998; ISBN 972 - 96727 - 8 - 4
- 10** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO NA ÁREA ELÉCTRICA
1999; ISBN 972 - 96727-9-2
- 10** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO NA ÁREA ELÉCTRICA VOLUME II
1999; ISBN 972 - 96727-9-2
- 11** ELABORAÇÃO DO MANUAL DA QUALIDADE DE LABORATÓRIOS
1999; ISBN 972 - 8574-00-2
- 12** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE VERIFICAÇÃO DE MÁQUINAS DE ENSAIO DE TRACÇÃO OU COMPRESSÃO
1999; ISBN 972 - 8574 - 01 - 0
- 13** VALIDAÇÃO DE MÉTODOS INTERNOS DE ENSAIO EM ANÁLISE QUÍMICA
2000; ISBN 972 - 8574 - 02 - 9
- 14** QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO DOS LABORATÓRIOS DE ANÁLISES CLÍNICAS FACE À NOVA NORMA EN ISO/IEC 17025
2000; ISBN 972 - 8574 - 03 - 7
- 15** GARANTIA DA QUALIDADE DE SISTEMAS INFORMÁTICOS EM LABORATÓRIOS
2000; ISBN 972 - 8574 - 04- 5
- 16** DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCERTEZA DE MEDIÇÃO ASSOCIADA À CALIBRAÇÃO DE BALANÇAS MANOMÉTRICAS
2000; ISBN 972 - 8574 - 05 - 3
- 17** ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DO SISTEMA DA QUALIDADE
2001; 972 - 8574 - 07 - x
- 18** PONTOS DE CALIBRAÇÃO EM EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DA ÁREA ELÉCTRICA
2001; 972 - 8574 - 07 - X
- 19** CÂMARAS TÉRMICAS – CONCEITOS BÁSICOS, REALIZAÇÃO DO ENSAIO TÉRMICO E AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO DE ENSAIO
2001; 972 - 8574 - 09 – 6
- 20** DECRETO-LEI Nº 78/2004
ANEXO II – ESPECIFICAÇÕES SOBRE O CONTEÚDO DO RELATÓRIO DE AUTOCONTROLO
2006; 972-8574-10-X
- 21** EXPOSIÇÃO DOS TRABALHADORES ÀS VIBRAÇÕES - APONTAMENTOS SOBRE ESTIMATIVA DAS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO
2008; 978-972-8574-13-0



Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal

Rua Filipe Folque, 2, 6º Dto
1050-113 LISBOA
Telef. 21 313 98 40
Fax 21 313 98 41
geral@relacre.pt
www.relacre.pt