

# 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:

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

---

## 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-BRÇO.....	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,

$\delta_{rep}$  – Componente devido à repetibilidade

$\delta_{sist}$  – Componente devido ao sistema de medição

$\delta_{dur}$  – Componente devido à duração da exposição

$\delta_{arred}$  – 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  $\nu_{eff}$ , 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  $v_{\text{eff}}$  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.

5.8 EXEMPLOS

Estimativa de Incerteza da Medição de Vibrações no Corco Humano – Corco Inteiro

i	Componente	Relatório:				Data:				Graus de Liberdade V	$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	Graus de Liberdade V	$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	Coeficiente Sensibilidade C <sub>i</sub>	Incerteza Padrão u(x)	Desvio Padrão S	Média	Incerteza Padrão u(x)	Coeficiente Sensibilidade C <sub>i</sub>	$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	Graus de Liberdade V
		Média	Desvio Padrão S	Incerteza Padrão u(x)	Coeficiente Sensibilidade C <sub>i</sub>	Média	Desvio Padrão S	Incerteza Padrão u(x)	Coeficiente Sensibilidade C <sub>i</sub>												
1	Repetibilidade das Medições, tarefa 1	7.47E-01	8.08E-02	4.67E-02	3.69E-01	2.96E-04	2.96E-04	2	7.26E-04	5.77E-01	5.77E-01	6.67E-01	1.15E-01	6.67E-02	5.77E-01	1.48E-03	2				
2	Sistema de Medição, tarefa 1	-	-	2.59E-02	3.69E-01	9.11E-05	9.11E-05	50	2.52E-04	5.77E-01	5.77E-01	-	-	2.31E-02	5.77E-01	1.78E-04	50				
3	Duração da Exposição, tarefa 1	-	-	9.24E-02	3.44E-02	1.01E-05	1.01E-05	50	6.99E-06	5.77E-01	5.77E-01	-	-	4.62E-02	4.81E-02	4.94E-06	50				
1	Repetibilidade das Medições, tarefa 2	1.73E+00	8.08E-02	4.67E-02	4.27E-01	3.96E-04	3.96E-04	2	1.81E-04	2.89E-01	2.89E-01	6.67E-01	1.15E-01	6.67E-02	2.89E-01	3.70E-04	2				
2	Sistema de Medição, tarefa 2	-	-	5.98E-02	4.27E-01	6.51E-04	6.51E-04	50	6.29E-05	2.89E-01	2.89E-01	-	-	2.31E-02	2.89E-01	4.44E-05	50				
3	Duração da Exposição, tarefa 2	-	-	4.62E-02	1.84E-01	7.23E-05	7.23E-05	50	6.99E-06	2.89E-01	2.89E-01	-	-	4.62E-02	4.81E-02	4.94E-06	50				
4	Arredondamento	-	-	2.89E-03	1.00E+00	8.33E-06	8.33E-06	50	8.33E-06	1.00E+00	1.00E+00	-	-	2.89E-03	1.00E+00	8.33E-06	50				
		Arredondamento=		0,005	$\sum u_x^2 =$		1,53E-03	1,77E+01													
		Nº de medições (n) =		3	$u_{rel} =$		3,91E-02														
		Erro de exactidão (%) =		0,16	$k =$		1,740														
		Erro da estimativa da duração da tarefa 1 (tb) =		0,08	$U = k \times u_y =$		0,07														
		Erro da estimativa da duração da tarefa 2 (tb) =		0,08																	
		Tempo exposição tarefa 1 (tb) =		4																	
		Tempo exposição tarefa 2 (tb) =		2																	
		como k																			
		como k																			
		Eixo x		0,7	0,84	0,7	0,747	0,528	1,01	Eixo x	1,68	1,82	1,68	1,727	0,86						
		Eixo y		0,84	0,7	0,84	0,793	0,561	0,69	Eixo y	0,84	0,7	0,84	0,793	0,40						
		Eixo z		0,6	0,6	0,8	0,667	0,471	0,58	Eixo z	0,6	0,6	0,8	0,667	0,33						
		Introdução de valores								Introdução de valores											
		Eixo x		0,5	0,6	0,5	0,533			Eixo x	1,2	1,3	1,2	1,233							
		Eixo y		0,6	0,5	0,6	0,567			Eixo y	0,6	0,5	0,6	0,567							
		Eixo z		0,6	0,6	0,8	0,667			Eixo z	0,6	0,6	0,8	0,667							
		eixo x																			
		eixo y																			
		eixo z																			
		A(8) + U																			
		A(8) + U																			
		A(8) + U																			

## 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:

$\delta_{rep}$  – Componente devido à repetibilidade

$\delta_{sist}$  – Componente devido ao sistema de medição

$\delta_{dur}$  – Componente devido à duração da exposição

$\delta_{loc}$  – Componente devido à fixação e localização do acelerómetro

$\delta_{ver}$  – Componente devido à verificação da cadeia de medição

$\delta_{arred}$  – 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  $m \cdot s^{-2}$

$a_{hwX}$ ,  $a_{hwY}$ ,  $a_{hwZ}$  – 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  $\nu_{\text{eff}}$ , 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  $\nu_{\text{eff}}$  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 <sup>2</sup>	Desvio Padrão S	Incerteza Padrão u(x)	Coefficiente Sensibilidade C <sub>i</sub>	$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	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 <sup>2</sup> ) =				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	<b>Incerteza (U) =</b>	<b>0,15</b>	

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

<b>Ferramenta</b>	<b>Material</b>	<b>Coefficiente de variação</b>
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