

MEDIÇÕES DE VIBRAÇÕES NO CORPO HUMANO – ESTIMATIVA DA INCERTEZA

Jorge Fradique¹, Fátima Inglês²

¹Direcção Regional da Economia de Lisboa e Vale do Tejo, Estrada da Portela – Zambujal
Apartado 7546 – Alfragide, 2611-858 Amadora, Portugal

jorge.fradique@dre-lvt.min-economia.pt

²Arsenal do Alfeite, Alfeite, 2810-001 Almada, Portugal

fatima.ingles@arsenal-alfete.pt

Resumo

Como sucede em diversas áreas de ensaios, a necessidade de associar uma estimativa da incerteza aos valores medidos é, cada vez mais, uma exigência actual. De facto, quer por exigência dos clientes, da legislação ou das entidades acreditadoras, os laboratórios de ensaio são obrigados a evidenciar e eventualmente reportar valores para a estimativa de incertezas, devendo mesmo, em alguns casos, contabilizar estes cálculos na verificação da conformidade com os limites legais.

No caso das medições de vibrações no corpo humano, a comissão técnica de vibrações existente no âmbito da Relacre, tem vindo a desenvolver um Guia para auxiliar os laboratórios interessados, no cálculo da referida estimativa de incertezas.

O presente artigo pretende apresentar os métodos de cálculo propostos, quer para a medição de vibrações transmitidas ao sistema mão-braço, quer para a medição de vibrações transmitidas ao corpo inteiro. São também apresentados e discutidos exemplos de cálculo, para cada uma das situações, com vista a divulgar e facilitar a implementação prática deste tipo de cálculos, na rotina dos laboratórios.

Palavras-chave: vibrações, estimativa de incertezas, guia, sistema corpo inteiro, sistema mão-braço.

Abstract

The need to provide an uncertainty estimate, together with the test results, is becoming the usual standard nowadays, in several areas. Either because of the legislation, of the accreditation authorities or of the clients, testing laboratories are obliged to report uncertainty estimates and even considering those estimates in comparing with legal values.

The technical committee for vibrations, working under Relacre, is developing a Guide to help laboratories calculate uncertainty estimates for measurements of whole body and hand-arm vibration.

This paper presents the proposed methods to estimate uncertainties in measurements of whole body and hand-arm vibration, and discusses some practical examples, in order to help laboratories in implementing this kind of calculations.

Keywords: vibration, uncertainty estimate, guide, whole body, hand arm.

1 Introdução

A exigência crescente de rigor nas medições, em particular quando se pretende comparar resultados com valores limite, tem levado a uma crescente preocupação com a forma de contabilizar aquilo que não é mensurável directamente, ou que escapa ao nosso controlo durante uma medição. De facto, qualquer um tem a noção de que ao medir um dado comprimento com uma fita métrica graduada em centímetros, o resultado será uma aproximação, em primeira análise de $\pm 0,5$ cm, relativamente ao verdadeiro valor da grandeza medida. É precisamente aqui que surge o conceito de incerteza de medição, que pode ser definida como uma estimativa que caracteriza o intervalo de valores dentro do qual o valor verdadeiro da grandeza medida se encontra.

1.1 Documentos base

Quando se trata de medições mais complexas, torna-se por vezes muito difícil estimar este tipo de incertezas relativamente ao resultado das medições. Para normalizar as metodologias de cálculo, permitindo abordagens sistemáticas e semelhantes, devem ser seguidos alguns documentos de base, sendo o mais antigo e conhecido o GUM [1], embora na generalidade dos casos sejam suficientes os documentos da European Accreditation EA 4/02 [2] e EA 4/16 [3]. Apesar da existência destes documentos, nem sempre a sua aplicação a casos concretos de ensaios é fácil e consensual, o que justifica a decisão da Comissão Técnica Relacre Vibrações de proceder à elaboração de um guia designado “Exposição dos trabalhadores às vibrações – Apontamentos sobre estimativa das incertezas de medição” [9], que foi recentemente editado. Este artigo pretende apresentar o método de cálculo proposto no referido guia, bem como apresentar alguns exemplos práticos de aplicação.

1.2 Descrição geral do método de cálculo

Os principais passos a seguir no cálculo da estimativa da incerteza de medição, seguindo os documentos referidos acima, podem ser sintetizados na seguinte lista de verificação:

Tabela 1 – Cálculo da estimativa da incerteza de medição.

Lista de verificação para o cálculo de incertezas
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.

Os componentes da incerteza a considerar na estimativa da incerteza padrão podem ser classificados como de tipo A, ou de tipo B. Os componentes de tipo A derivam de várias observações independentes para a mesma grandeza de entrada e nas mesmas condições de medição. Este tipo de componentes aplica-se em geral aos resultados obtidos por repetição de medições. Por outro lado, os componentes de tipo B derivam da estimativa de grandezas de entrada que não provêm de uma análise estatística experimental. Podem ser obtidos a partir da análise de certificados de calibração, de especificações do fabricante, da experiência prática dos laboratórios, de exercícios de comparação interlaboratorial, etc.

1.3 Distribuições e coeficientes de sensibilidade

As distribuições estatísticas mais utilizadas para caracterizar os componentes de incerteza são as indicadas na tabela seguinte, onde se indica também a correspondente fórmula de cálculo da variância.

Tabela 2 – Distribuições estatísticas e respectiva variância.

Distribuição rectangular	$\sigma^2 = \frac{a^2}{3}$
Distribuição normal	$\sigma^2 = \frac{a^2}{9}$
Distribuição triangular	$\sigma^2 = \frac{a^2}{6}$

O coeficiente de sensibilidade associado à estimativa da grandeza de entrada x_i , é a derivada parcial da função modelo f em relação a X_i , avaliada nas estimativas x_i da grandeza de entrada.

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} \Bigg|_{x_1=x_1 \dots x_n=x_n} \quad (1)$$

Que, no caso particular em apreço, será a derivada parcial da função modelo, a expressão de cálculo de $A(8)$, em ordem a cada uma das componentes da incerteza consideradas.

2 Estimativa de incerteza no ensaio de medição de vibrações no corpo inteiro

2.1 Modelo matemático

O modelo matemático para o cálculo de incertezas no ensaio de medição de vibrações no corpo inteiro pode ser descrito pela seguinte expressão:

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

$$A(8)_i = ka_{wi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \quad (3)$$

Onde,

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 $m \cdot s^{-2}$

Considerando que o parâmetro a_{wi} já inclui o factor multiplicativo, k , fica:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wi}^2 T_i} \quad (4)$$

2.2 Fontes de incerteza

O método de ensaio a utilizar corresponde ao método básico, de acordo com o descrito na norma NP ISO 2631-1 [4] e no anexo II do Decreto-Lei 46/2006 [5].

Assim, na aplicação deste modelo, foram consideradas as fontes de incerteza seguintes:

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

2.3 Classificação dos componentes de incerteza

A tabela seguinte apresenta a classificação de cada tipo de incerteza considerada, bem como as respectivas distribuições.

Tabela 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

2.4 Componentes de incerteza

2.4.1 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.

2.4.2 Incerteza associada ao sistema de medição

Esta fonte de incerteza tem por base o valor do erro máximo de acordo com a norma EN ISO 8041 [6] (6%). Assim é uma incerteza de tipo B, com distribuição rectangular.

2.4.3 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.

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 então ser estimada por meio de uma distribuição rectangular.

2.4.4 Incerteza associada ao arredondamento

A incerteza devida ao arredondamento pode ser estimada por meio de uma distribuição rectangular, admitindo um intervalo de variação de meia divisão da leitura indicada.

O coeficiente de sensibilidade neste caso tem o valor 1.

2.5 Cálculo da incerteza combinada

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

$$u_{combinada}^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u(x_i)^2 . \quad (5)$$

2.6 Cálculo da incerteza expandida

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

$$U = k \cdot u_{combinada}(y) \quad (6)$$

$$Y = y \pm U \quad (7)$$

Sendo:

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:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (8)$$

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.

2.7 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.

A estimativa da incerteza deve ser calculada para cada um dos eixos. O eixo escolhido deve ser aquele em que a soma do valor de $A(8)$ com o valor da respectiva incerteza seja mais elevado.

2.8 Exemplo

No anexo I apresenta-se um exemplo de cálculo para a estimativa de incerteza do ensaio de medição de vibrações no corpo inteiro.

3 Estimativa de incerteza no ensaio de medição de vibrações no sistema mão-braço

3.1 Modelo matemático

O modelo matemático para o cálculo de incertezas no ensaio de medição de vibrações no sistema mão-braço pode ser descrito pela seguinte expressão:

$$A(8) = \sqrt{\sum [A(8)_i + \delta_{rep} + \delta_{sist} + \delta_{dur} + \delta_{loc}]^2} + \delta_{ver} + \delta_{arred} \quad (9)$$

$$A(8)_i = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \quad (10)$$

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (11)$$

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvwz}^2} \quad (12)$$

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_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz} – Valores eficazes das acelerações ponderadas em frequência para os eixos x , y e z , respectivamente.

3.2 Fontes de incerteza

O método de ensaio a utilizar corresponde ao descrito na norma EN ISO 5349, partes 1 [7] e 2 [8] e no anexo I do Decreto-Lei 46/2006 [5].

Assim, na aplicação deste modelo, foram consideradas as fontes de incerteza seguintes:

- 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.

3.3 Classificação dos componentes de incerteza

A tabela seguinte apresenta a classificação de cada tipo de incerteza considerada, bem como as respectivas distribuições.

Tabela 4 – 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

3.4 Componentes de incerteza

3.4.1 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.

3.4.2 Incerteza associada ao sistema de medição

Esta fonte de incerteza tem por base o valor do erro máximo de acordo com a norma EN ISO 8041 [6] (6%). Assim é uma incerteza de tipo B, com distribuição rectangular.

3.4.3 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.

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 então ser estimada por meio de uma distribuição rectangular.

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

3.4.5 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.

O valor do coeficiente de variação deve ser determinado para diferentes tipos de ferramentas. No caso geral, para ferramentas para as quais não exista um estudo específico, deve ser utilizado para coeficiente de variação o valor de 15%.

3.4.6 Incerteza associada ao arredondamento

A incerteza devida ao arredondamento pode ser estimada por meio de uma distribuição rectangular. O coeficiente de sensibilidade neste caso tem o valor 1.

3.5 Cálculo da incerteza combinada

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

$$u_{combinada}^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u(x_i)^2 . \quad (13)$$

3.6 Cálculo da incerteza expandida

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

$$U = k \cdot u_{\text{combinada}}(y) \quad (14)$$

$$Y = y \pm U \quad (15)$$

Sendo:

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:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad (16)$$

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.

3.7 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.

A estimativa da incerteza deve ser calculada para cada uma das mãos. A mão escolhida deve ser aquela em que a soma do valor de $A(8)$ com o valor da respectiva incerteza seja mais elevado.

3.8 Exemplos

No anexo II apresenta-se um exemplo de cálculo para a estimativa de incerteza do ensaio de medição de vibrações no sistema mão-braço.

4 Conclusões

Constatou-se que no Ensaio de Comparação Interlaboratorial realizado recentemente, para medição da exposição a vibrações no sistema mão-braço, a incerteza expandida indicada pelos laboratórios participantes apresentou uma dispersão de valores de $0,32 \text{ m.s}^{-2}$ até ao valor máximo de $2,9 \text{ m.s}^{-2}$. Esta grande dispersão encontrada deriva dos diferentes métodos de cálculo e da contabilização das componentes da incerteza.

Esperamos com este artigo, contribuir para a divulgação e uniformização do cálculo de incertezas nos ensaios de exposição dos trabalhadores às vibrações, permitindo melhorar a qualidade e fiabilidade dos resultados apresentados pelos diversos laboratórios, que actuam nesta área.

Referências

- [1] ISO/IEC Guide 98:1995 – “Guide to the expression of uncertainty in measurements”.
- [2] EA 4/02 – “Expression of the uncertainty of measurement in calibration”, 1999.
- [3] EA 4/16 – “Guidelines on the expression of uncertainty in quantitative testing”, 2003.
- [4] NP ISO 2631-1: 2007, “Vibrações mecânicas e choque – Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações, parte 1: Requisitos gerais”.
- [5] Decreto-lei 46/2006 de 24 de Fevereiro, Lisboa, 2006.
- [6] EN ISO 8041: 2005, “Human response to vibration – Measuring instrumentation”.
- [7] EN ISO 5349-1: 2001, “Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration, part 1: General requirements”.
- [8] 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”.
- [9] Guia Relacre 21 – “Exposição dos trabalhadores às vibrações - Apontamentos sobre estimativa das incertezas de medição”, Relacre, Lisboa, 2008.

Anexo I

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

i	Componente	Data					Graus de Liberdade V
		Média	Desvio Padrão S	Incerteza Padrão u(x)	Coefficiente Sensibilidade Ci	$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	
1	Repetibilidade das Medições, tarefa 1	7,47E-01	8,08E-02	4,67E-02	3,69E-01	2,96E-04	2
2	Sistema de Medição, tarefa 1	-	2,59E-02	2,59E-02	3,69E-01	9,11E-05	50
3	Direção da Exposição, tarefa 1	-	9,24E-02	3,48E-02	3,48E-02	1,01E-05	50
1	Repetibilidade das Medições, tarefa 2	1,73E-00	8,08E-02	4,67E-02	4,27E-01	3,96E-04	2
2	Sistema de Medição, tarefa 2	-	5,98E-02	4,27E-02	4,27E-01	6,51E-04	50
3	Direção da Exposição, tarefa 2	-	4,62E-02	1,84E-01	1,84E-01	7,23E-05	50
4	Aredondamento	-	2,89E-03	1,00E+00	1,00E+00	8,33E-06	50
Aredondamento =		0,005		$\sum u_i^2 = 1,53E-03$		1,77E+01	
Nº de medições (n) =		3		$u_y = 3,91E-02$			
Erro de exactidão (%) =		6					
Erro da estimativa da duração da tarefa 1 (h) =		0,16					
Erro da estimativa da duração da tarefa 2 (h) =		0,08		$k = 1,740$			
Tempo exposição tarefa 1 (h) =		4		$U = k \times u_y = 0,07$			
Tempo exposição tarefa 2 (h) =		2					
com o k							
Eixo x	0,7	0,84	0,7	Média	A(8)1	A(8)	1,08
Eixo y	0,84	0,7	0,84	0,747	0,528	1,01	0,86
Eixo z	0,6	0,6	0,8	0,793	0,561	0,69	0,40
				0,667	0,471	0,58	0,33
Introdução de valores							
Eixo x	0,5	0,6	0,5	Média			
Eixo y	0,6	0,5	0,6	0,533			
Eixo z	0,6	0,6	0,8	0,567			
				0,667			
com o k							
Eixo x	0,7	0,84	0,7	Média	A(8)2	A(8)	1,08
Eixo y	0,84	0,7	0,84	0,747	0,528	1,01	0,86
Eixo z	0,6	0,6	0,8	0,793	0,561	0,69	0,40
				0,667	0,471	0,58	0,33
Introdução de valores							
Eixo x	0,5	0,6	0,5	Média			
Eixo y	0,6	0,5	0,6	0,533			
Eixo z	0,6	0,6	0,8	0,567			
				0,667			

Eixo x	
A(8) + U	1,08
A(8) + U	0,76
A(8) + U	0,68

Eixo y	
Média	7,93E-01
Desvio Padrão S	8,08E-02
Incerteza Padrão u(x)	4,67E-02
Coefficiente Sensibilidade Ci	5,77E-01
$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	7,26E-04
Graus de Liberdade V	2

Eixo z	
Média	6,07E-01
Desvio Padrão S	1,15E-01
Incerteza Padrão u(x)	6,67E-02
Coefficiente Sensibilidade Ci	5,77E-01
$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	1,48E-03
Graus de Liberdade V	2

Eixo x	
Média	7,93E-01
Desvio Padrão S	8,08E-02
Incerteza Padrão u(x)	4,67E-02
Coefficiente Sensibilidade Ci	5,77E-01
$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	7,26E-04
Graus de Liberdade V	2

Eixo y	
Média	6,07E-01
Desvio Padrão S	1,15E-01
Incerteza Padrão u(x)	6,67E-02
Coefficiente Sensibilidade Ci	5,77E-01
$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	1,48E-03
Graus de Liberdade V	2

Eixo z	
Média	6,07E-01
Desvio Padrão S	1,15E-01
Incerteza Padrão u(x)	6,67E-02
Coefficiente Sensibilidade Ci	5,77E-01
$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	1,48E-03
Graus de Liberdade V	2

Eixo x	
Média	7,93E-01
Desvio Padrão S	8,08E-02
Incerteza Padrão u(x)	4,67E-02
Coefficiente Sensibilidade Ci	5,77E-01
$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	7,26E-04
Graus de Liberdade V	2

Eixo y	
Média	6,07E-01
Desvio Padrão S	1,15E-01
Incerteza Padrão u(x)	6,67E-02
Coefficiente Sensibilidade Ci	5,77E-01
$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	1,48E-03
Graus de Liberdade V	2

Eixo z	
Média	6,07E-01
Desvio Padrão S	1,15E-01
Incerteza Padrão u(x)	6,67E-02
Coefficiente Sensibilidade Ci	5,77E-01
$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	1,48E-03
Graus de Liberdade V	2

Anexo II

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

Relatório :

Data :

<i>i</i>	Componente	Média m/s ²	Desvio Padrão S	Incerteza Padrão u(x)	Coefficiente Sensibilidade C _i	$u_y^2 = (u_x \times C_i)^2$	Graus de Liberdade <i>v</i>
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	$a_{m.w.}$	Média ($a_{m.w.}$)	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	$a_{m.w.}$	Média ($a_{m.w.}$)	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