

6

Referências Bibliográficas

ABNT/INMETRO, **Guia para Expressão da Incerteza de Medição**, Brasil, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tolerâncias de Montagem de Unidade Hidrelétricas Verticais de Grande Porte, **NBR 13224**, Brasil, 1994.

ATUAÇÃO DE FURNAS. FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. Disponível em <http://www.furnas.com.br/institu_atuacao.asp> . Acesso em: 21 abr. 2006.

CAMPOS, S. F. **Ensaios em Equipamentos Rotativos – Oscilações nas unidades geradoras da USMM.O**. Brasil, 2004.

DIAS, V. F.; **Circuitos e sistemas eletrônicos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil, 1996.

FILHO, D. A.; WEBER, A. J.; ARAÚJO, P. **TELECURSO 2000**. FIESP/Fundação Roberto Marinho.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Relatório de Indicadores de Desempenho da Manutenção - 2005**. Brasil, 2006.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER. **Fundamentos de Física**. Brasil, São Paulo, LTC Editora S.A., 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Mechanical vibration of non-reciprocating machines – Measurements on rotating shafts and evaluation – Part 1:General guidelines, **ISO 7919-1**, Suíça, 1986.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Mechanical vibration of non-reciprocating machines – Measurements on rotating shafts and evaluation criteria – Part 5:Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants, **ISO 7919-5**, Suíça, 1997.

ISO GUM. **Guia para a expressão da incerteza da medição**. Organização Internacional de Padronização, Suíça, 1995.

NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. Installation of vertical hydraulic-turbine-driven generators and reversible generators/motors for pumped storage installations, **NEMA MG 5.2**, Estados Unidos da América, 1972.

OCADA, Roger. **Sensores**. Sensores do Brasil. Brasil, 2006.

ORLANDO, A. F. **Applications of measurement uncertainty in laboratory testing**. 2nd Advanced School on the Expression of Uncertainty of Measurements”, Metrologia, 2003, Recife, Brasil, 2003.

SPIEGEL, MURRAY R. **Estatística**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1993.

TOLEDO, GERALDO LUCIANO; OVALLE, IVO IZIDORO. **Estatística Básica**. Brasil, São Paulo, Atlas, 1985.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARTA – Grupo de Ensino de Física – Caderno Didático. **Oscilações e ondas**.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, Shaft vibrations of hydraulic machine sets, **VDI 2059** – Part 5, Alemanha, 1982.

VIM. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**, Brasil: INMETRO, 2000.

Apêndice A

- 1. Estatística**
- 2. Resultados das calibrações**

1. Estatística

1.1 Valor Médio

O valor mais provável da medida de uma variável é a média aritmética das medidas efetuadas. A melhor aproximação será feita quando o número de medidas da mesma quantidade é grande. Teoricamente um número infinito de medidas seria necessário, embora na prática um número finito de medidas é realizado. A média aritmética é dada pela seguinte expressão:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (41)$$

onde \bar{X} é a média aritmética; X_i é a i -ésima medição efetuada, e n é o número de medições efetuadas.

Se $n \rightarrow \infty$, então $\bar{X} \rightarrow \mu$, onde μ é a média verdadeira.

1.2 Desvio padrão experimental

Para uma série de “ n ” medições de um mesmo mensurando, a grandeza “ s ”, que caracteriza a dispersão dos resultados, é dada pela fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (42)$$

em que X_i representa o resultado da “ i ésima” medição e \bar{X} representa a média aritmética dos “ n ” resultados considerados.

1.3 A incerteza padrão como medida da dispersão e o intervalo de confiança

A incerteza padrão u é equivalente a 1 desvio padrão. O desvio padrão é a medida da dispersão dessa grandeza X em torno da média. Costuma-se chamá-lo de σ e de s sua estimativa. Ele tem a mesma unidade de X . Para uma distribuição normal, 68,27% de todos os possíveis valores de X cairão dentro do intervalo $\mu \pm \sigma$, 95,45% cairão em $\mu \pm 2\sigma$, e 99,73% em $\mu \pm 3\sigma$.

As expressões matemáticas para cálculo de σ e de s são as seguintes:

$$\sigma = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2 \right]^{1/2}, \text{ onde } n \rightarrow \infty. \quad (43)$$

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2}, \text{ para } n \text{ pequeno.} \quad (44)$$

Note que, na segunda expressão, $n-1$ é usado no lugar de n . Isso é feito para compensar o fato de que a estimativa s sempre subestima σ . Mesmo assim, o valor estimado de σ continua subestimando o valor verdadeiro e isso é tanto mais evidente quanto menor é a amostra.

Outro fato interessante é que se X é uma variável aleatória, a média de X é outra variável aleatória cujo desvio-padrão é igual ao desvio-padrão de X dividido por \sqrt{n} . Assim:

$$\sigma_{\text{média}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (45)$$

1.4 A distribuição t de “Student”

Reconhecendo a deficiência do desvio-padrão amostral subestimar o desvio-padrão da população, um método foi desenvolvido pelo químico inglês W. S. Gosset em 1907, sob o pseudônimo “Student”, pelo qual intervalos de confiança poderiam ser obtidos a partir da estimativa s do desvio-padrão de uma simples amostra pequena (Benedict, 1984). Ele introduziu um fator de abrangência a que denominou de $t_{v,p}$ de “Student” para ser multiplicado pela estimativa s e assim amenizar o efeito de subestimar o desvio-padrão σ . Este fator de abrangência, como se vê na Tabela 28, é função do número de graus de liberdade v e do grau de confiança desejado. O número de graus de liberdade pode ser definido em geral como o número de observações (medidas, medições) menos o número de constantes calculadas a partir dos dados. No caso da estimativa s do desvio-padrão, a quantidade de constantes calculadas a partir

dos dados é igual a 1, porque a única constante calculada é a estimativa da média.

Tabela 28 - Valores de t-student

$\nu = n - 1$ (Graus de Liberdade)	Nível de Confiança Desejado		
	68,27 %	95,45 %	99,73 %
1	1,84	13,97	235,80
2	1,32	4,53	19,21
3	1,20	3,31	9,22
4	1,14	2,87	6,62
5	1,11	2,65	5,51
6	1,09	2,52	4,90
7	1,08	2,43	4,53
8	1,07	2,37	4,28
9	1,06	2,32	4,09
10	1,05	2,28	3,96
15	1,03	2,18	3,59
20	1,03	2,13	3,42
25	1,02	2,11	3,33
30	1,02	2,09	3,27
40	1,01	2,06	3,20
50	1,01	2,05	3,16
∞	1,00	2,00	3,00

$$X \pm t_{\nu,p} s \quad (46)$$

A equação acima significa que, para uma simples observação de X , a média verdadeira μ terá uma probabilidade p de estar incluída nesse intervalo.

1.5 A propagação das incertezas

Se um resultado r é função da combinação de parâmetros, a incerteza desse resultado será função das incertezas desses parâmetros. Se esses parâmetros forem estatisticamente independentes, situação mais comumente encontrada, a incerteza padrão do resultado será:

$$u_r^2 = \sum_{i=1}^J u_i^2 \quad (47)$$

onde, J é o número de parâmetros.

Se os parâmetros não forem estatisticamente independentes:

$$u_r^2 = \sum_{i=1}^J (c_i u_i)^2 \quad (48)$$

onde $c_i = \frac{\partial r}{\partial u_i}$ é o coeficiente de sensibilidade. (49)

A incerteza padrão combinada será depois expandida por um fator de abrangência k conveniente, e teremos, então, a incerteza combinada expandida:

$$U_r = k u_r \quad (50)$$

1.6 A distribuição de probabilidade retangular

A distribuição de probabilidade retangular é utilizada quando há pouca informação sobre a grandeza de entrada V e, por isso, deve-se agir com mais cautela, em favor da segurança. A incerteza padrão para uma distribuição retangular é obtida da seguinte forma:

$$u = \frac{\frac{V_{máx} - V_{mín}}{2}}{\sqrt{3}} \quad (51)$$

Este valor de incerteza é muito maior que aquele que seria obtido se considerássemos a distribuição normal a mais adequada ou mesmo a triangular.

Apesar de o valor de incerteza obtido com a distribuição retangular ser maior, a probabilidade de o intervalo de confiança conter o valor verdadeiro também é maior. Portanto, a escolha da distribuição retangular é a mais segura quando há pouca informação sobre a grandeza que se quer medir.

1.7 As incertezas tipo A e tipo B

A avaliação do tipo A da incerteza padrão é o método de avaliação da incerteza pela análise estatística de uma série de observações. Neste caso, a incerteza padrão é o desvio padrão experimental da média que se obtêm de um procedimento de cálculo da média aritmética.

A avaliação do tipo B da incerteza padrão é o método de avaliação da incerteza por outros meios que não a análise estatística de uma série de observações Tais como:

- dados de medição anteriores,
- experiência ou conhecimento geral do comportamento e propriedades de materiais e instrumentos relevantes,
- especificações do fabricante,
- dados provenientes de calibração e de outros certificados,
- incertezas atribuídas a dados de referência provenientes de manuais ou publicações.

1.8 O método dos mínimos quadrados e a escolha da melhor curva de ajuste

O método dos mínimos quadrados é o método mais utilizado para ajuste de curvas a dados obtidos experimentalmente. Primeiro é preciso escolher a função que será usada para estimar valores a partir dos dados experimentais. Depois é fácil calcular os valores das incógnitas dessa função que minimizam a soma dos quadrados das diferenças entre os valores estimados (pela função) e os valores experimentais correspondentes. Matematicamente:

$$S = \sum_{i=1}^N (f^*(x_i) - f(x_i))^2 \quad (52)$$

onde, $f^*(x_i)$ é o valor estimado pela função em x_i ,

$f(x_i)$ é o valor experimental correspondente,

N é o número de dados experimentais.

Esses valores, $f^*(x_i)$ e $f(x_i)$, devem ser o mais próximo possível um do outro.

Para a escolha da melhor curva de ajuste, escolhidas algumas funções diferentes como, por exemplo, uma função linear do tipo $y = kx$, outra do tipo $y = kx + b$, uma outra polinomial do 2º grau, uma outra do terceiro grau. Por último, calcula-se a incerteza do ajuste para cada uma dessas funções, e escolhe-se a curva cuja incerteza do ajuste foi a menor de todas essas incertezas calculadas. Não é aconselhável experimentar um polinômio de grau maior que o terceiro. Há o risco de existir um polinômio de grau alto, 5º, por exemplo, cuja incerteza do ajuste seja bem pequena, mas que não represente bem os pontos experimentais. Ele pode passar perto de todos os pontos, mas com subidas e descidas e pontos de inflexão não coerentes com a tendência mostrada pelos resultados obtidos experimentalmente.

A expressão usada para calcular a incerteza do ajuste é a seguinte:

$$s^2 = \frac{1}{N-g} \sum_{i=1}^N (f^*(x_i) - f(x_i))^2 \quad (53)$$

onde, g é o número de incógnitas da função $f^*(x)$ a serem determinadas a partir dos N dados experimentais.

2. Resultados das calibrações

2.1. Curvas e incertezas na calibração estática

2.1.1. Incerteza da curva ângulo x deslocamento

Tabela 29 - Incerteza da curva ângulo x deslocamento

Deslocamento (mm)	upresol	upcal	uajuste	ugraus	udesloc	k	Udesloc
0	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
0,11	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
0,46	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
0,95	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
1,45	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
1,82	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
1,98	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
1,87	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
1,53	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
1,05	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
0,5	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
0,16	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068
0	0,0058	0,0015	0,033	0,0050	0,034	2	0,068

$$Udesloc = tstudent * udesloc$$

$$Udesloc = +/- 0,068 \text{ mm}$$

2.1.2. Incerteza e curva ângulo x deslocamento dos sensores 1 e 2

Tabela 30 - Curva ângulo x deslocamento do sensor 1

Posição (graus)	Sensor 1	$y = 5,1270 - 2,6991 \cos \theta$	
	Tensão Média V	Tensão Calculada V	Ajuste V
0	2,4562	2,428	0,028
30	2,8118	2,790	0,022
60	3,7616	3,777	-0,016
90	5,1765	5,127	0,049
120	6,6068	6,477	0,130
150	7,5145	7,464	0,050
180	7,8261	7,826	0,000
210	7,5442	7,464	0,080
240	6,7236	6,477	0,247
270	5,3328	5,127	0,206
300	3,9163	3,777	0,139
330	2,7602	2,790	-0,029
360	2,4279	2,428	0,000

Desvio Médio Quadrático

0,12

Tabela 31 - Incerteza da curva ângulo x deslocamento do sensor 1
 Incerteza ângulo x deslocamento Sensor 1

Tensão (V)	uVcal	urep	uajuste	ugraus	utensão	k	Utensão
2,4562	2,62E-05	4,35E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
2,8118	8,35E-05	4,58E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
3,7616	1,48E-04	4,63E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
5,1765	3,51E-04	4,37E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
6,6068	3,96E-04	3,87E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
7,5145	4,73E-04	3,79E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
7,8261	5,00E-04	3,55E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
7,5442	4,73E-04	3,83E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
6,7236	3,96E-04	4,09E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
5,3328	3,51E-04	4,75E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
3,9163	1,48E-04	4,82E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
2,7602	8,35E-05	4,78E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24
2,4279	2,62E-05	4,56E-03	0,12	0,014	0,12	2	0,24

$$Utensão = tstudent * utensão$$

$$Utensão = +/- 0,24 V$$

Tabela 32 - Curva ângulo x deslocamento do sensor 2

Sensor 2 $y = 5,2031 - 4,6794 \cos \theta$			
Posição (graus)	Tensão Média V	Tensão Calculada V	Ajuste V
0	0,566	0,524	0,043
30	1,232	1,151	0,082
60	3,047	2,863	0,184
90	5,602	5,203	0,399
120	7,894	7,543	0,351
150	9,393	9,256	0,138
180	9,882	9,883	0,000
210	9,384	9,256	0,129
240	7,998	7,543	0,455
270	5,568	5,203	0,365
300	3,120	2,863	0,256
330	1,146	1,151	-0,004
360	0,524	0,524	0,000

Desvio Médio Quadrático

0,26

Tabela 33 - Incerteza da curva ângulo x deslocamento do sensor 2

Incerteza ângulo x deslocamento Sensor 2

Tensão (V)	uVcal	urep	uajuste	ugraus	utensão	k	Utensão
0,5662	2,62E-05	4,35E-03	0,26	0,024	0,27	2	0,53
1,2321	8,35E-05	4,58E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
3,0474	1,48E-04	4,63E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
5,6022	3,51E-04	4,37E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
7,8940	3,96E-04	3,87E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
9,3935	4,73E-04	3,79E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
9,8825	5,00E-04	3,55E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
9,3841	4,73E-04	3,83E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
7,9979	3,96E-04	4,09E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
5,5681	3,51E-04	4,75E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
3,1197	1,48E-04	4,82E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
1,1465	8,35E-05	4,78E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53
0,5237	2,62E-05	4,56E-03	0,26	0,024	0,26	2	0,53

$$\text{Utensão} = t_{\text{student}} * \text{utensão}$$

$$\text{Utensão} = \pm 0,53 \text{ V}$$

2.1.3. Incerteza da curva tensão x deslocamento dos sensores 1 e 2

Tabela 34 - Incerteza da curva tensão x deslocamento do sensor 1

Deslocamento (mm)	upresol	upcal	uajuste	ugraus	uVcal	urep
0	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	2,62E-05	4,35E-03
0,11	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	8,35E-05	4,58E-03
0,46	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	1,48E-04	4,63E-03
0,95	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	3,51E-04	4,37E-03
1,45	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	3,96E-04	3,87E-03
1,82	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	4,73E-04	3,79E-03
1,98	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	5,00E-04	3,55E-03
1,87	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	4,73E-04	3,83E-03
1,53	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	3,96E-04	4,09E-03
1,05	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	3,51E-04	4,75E-03
0,5	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	1,48E-04	4,82E-03
0,16	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	8,35E-05	4,78E-03
0	0,0058	0,0015	0,026	0,0050	2,62E-05	4,56E-03

Deslocamento (mm)	ugraus	Ci	udeslocamento	k	Udeslocamento
0	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
0,11	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
0,46	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
0,95	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
1,45	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
1,82	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
1,98	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
1,87	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
1,53	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
1,05	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
0,5	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
0,16	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055
0	0,014	0,31	2,76E-02	2	0,055

$$\text{Udeslocamento} = t_{\text{student}} * \text{udeslocamento}$$

$$\text{Udeslocamento} = \pm 0,055 \text{ mm}$$

Tabela 35 - Incerteza da curva tensão x deslocamento do sensor 2

Deslocamento (mm)	upresol	upcal	uajuste	ugraus	uVcal	urep
0	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	2,62E-05	4,35E-03
0,11	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	8,35E-05	4,58E-03
0,46	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	1,48E-04	4,63E-03
0,95	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	3,51E-04	4,37E-03
1,45	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	3,96E-04	3,87E-03
1,82	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	4,73E-04	3,79E-03
1,98	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	5,00E-04	3,55E-03
1,87	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	4,73E-04	3,83E-03
1,53	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	3,96E-04	4,09E-03
1,05	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	3,51E-04	4,75E-03
0,5	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	1,48E-04	4,82E-03
0,16	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	8,35E-05	4,78E-03
0	0,0058	0,0015	0,0358	0,00497	2,62E-05	4,56E-03

Deslocamento (mm)	ugraus	Ci	udeslocamento	k	Udeslocamento
0	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
0,11	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
0,46	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
0,95	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
1,45	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
1,82	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
1,98	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
1,87	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
1,53	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
1,05	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
0,5	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
0,16	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074
0	0,024	0,180	3,69E-02	2	0,074

Udeslocamento = tstudent * udeslocamento

Udeslocamento = +/- 0,074 mm

2.1.4. Incerteza da calibração estática (FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.) dos sensores 1 e 2

Tabela 36 - Incerteza da calibração estática do sensor 1

Deslocamento	upresol	upcal	uajuste	Ci	uVcal	urep
1	0,0058	0,0015	0,088	0,3899	1,12E-05	1,01E-05
1,5	0,0058	0,0015	0,088	0,3899	8,35E-05	1,18E-03
2	0,0058	0,0015	0,088	0,3899	1,30E-04	1,13E-03
2,5	0,0058	0,0015	0,088	0,3899	2,35E-04	1,21E-03
3	0,0058	0,0015	0,088	0,3899	3,32E-04	6,12E-05
3,5	0,0058	0,0015	0,088	0,3899	3,75E-04	2,33E-02
4	0,0058	0,0015	0,088	0,3899	3,96E-04	2,40E-02
4,5	0,0058	0,0015	0,088	0,3899	4,73E-04	2,94E-03
5	0,0058	0,0015	0,088	0,3899	5,00E-04	4,42E-03

Deslocamento	uVcal ²	urep ²	udeslocamento	veff	k	Udeslocamento
1	1,25E-10	1,02E-10	0,088	1000	2	0,18
1,5	6,97E-09	1,40E-06	0,088	1000	2	0,18
2	1,69E-08	1,28E-06	0,088	1000	2	0,18
2,5	5,52E-08	1,46E-06	0,088	1000	2	0,18
3	1,10E-07	3,75E-09	0,088	1000	2	0,18
3,5	1,41E-07	5,42E-04	0,089	1000	2	0,18
4	1,56E-07	5,75E-04	0,089	1000	2	0,18
4,5	2,23E-07	8,62E-06	0,088	1000	2	0,18
5	2,50E-07	1,95E-05	0,088	1000	2	0,18

Udeslocamento = tstudent * udeslocamento

Udeslocamento = +/- 0,18 mm

Tabela 37 - Incerteza da calibração estática do sensor 2

Deslocamento	upresol	upcal	uajuste	Ci	uVcal	urep
2	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	8,35E-05	2,41E-02
2,2	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	1,30E-04	2,36E-02
2,4	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	1,48E-04	1,54E-02
2,6	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	2,35E-04	3,80E-03
2,8	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	3,32E-04	6,79E-03
3	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	3,51E-04	9,53E-03
3,2	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	3,75E-04	8,81E-03
3,4	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	3,96E-04	8,34E-03
3,6	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	4,73E-04	5,27E-03
3,8	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	5,00E-04	7,63E-03
4	0,0058	0,0015	0,041	0,2123	5,00E-04	7,09E-05

Deslocamento	uVcal ²	urep ²	udeslocamento	veff	k	Udeslocamento
2	6,97E-09	5,80E-04	0,04132	1000	2	0,083
2,2	1,69E-08	5,57E-04	0,04130	1000	2	0,083
2,4	2,19E-08	2,37E-04	0,04113	1000	2	0,082
2,6	5,52E-08	1,45E-05	0,04101	1000	2	0,082
2,8	1,10E-07	4,61E-05	0,04102	1000	2	0,082
3	1,23E-07	9,07E-05	0,04105	1000	2	0,082
3,2	1,41E-07	7,77E-05	0,04104	1000	2	0,082
3,4	1,56E-07	6,96E-05	0,04104	1000	2	0,082
3,6	2,23E-07	2,78E-05	0,04101	1000	2	0,082
3,8	2,50E-07	5,81E-05	0,04103	1000	2	0,082
4	2,50E-07	5,03E-09	0,04100	1000	2	0,082

Udeslocamento = tstudent * udeslocamento

Udeslocamento = +/- 0,083 mm

2.2. Calibração dinâmica dos sensores de proximidade indutivos

Tabela 38 - Valores de tempo (s) x tensão (V) do sensor 1

t (s)	Tensão (V)	t (s)	Tensão (V)	t (s)	Tensão (V)	t (s)	Tensão (V)
0,0000	5,06134	0,2148	7,66512	0,4297	3,16364	0,6445	4,48781
0,0039	5,16713	0,2188	7,63481	0,4336	3,08697	0,6484	4,59301
0,0078	5,27827	0,2227	7,60212	0,4375	3,00911	0,6523	4,69642
0,0117	5,38169	0,2266	7,56586	0,4414	2,93838	0,6563	4,79627
0,0156	5,48332	0,2305	7,52842	0,4453	2,87122	0,6602	4,89968
0,0195	5,58852	0,2344	7,48741	0,4492	2,81060	0,6641	5,01201
0,0234	5,69015	0,2383	7,44224	0,4531	2,76187	0,6680	5,11840
0,0273	5,78346	0,2422	7,39410	0,4570	2,71789	0,6719	5,23013
0,0313	5,87677	0,2461	7,33883	0,4609	2,66499	0,6758	5,33890
0,0352	5,97364	0,2500	7,28474	0,4648	2,62101	0,6797	5,43458
0,0391	6,06695	0,2539	7,22828	0,4688	2,58476	0,6836	5,53562
0,0430	6,15492	0,2578	7,17241	0,4727	2,55088	0,6875	5,63725
0,0469	6,24288	0,2617	7,10585	0,4766	2,52354	0,6914	5,73353
0,0508	6,33084	0,2656	7,03334	0,4805	2,49977	0,6953	5,82328
0,0547	6,41226	0,2695	6,96499	0,4844	2,47064	0,6992	5,91718
0,0586	6,49428	0,2734	6,89961	0,4883	2,44152	0,7031	6,01584
0,0625	6,57749	0,2773	6,82889	0,4922	2,42369	0,7070	6,10915
0,0664	6,65832	0,2813	6,75519	0,4961	2,41299	0,7109	6,20246
0,0703	6,74628	0,2852	6,68090	0,5000	2,40705	0,7148	6,29458
0,0742	6,83364	0,2891	6,60007	0,5039	2,40705	0,7188	6,37898
0,0781	6,91031	0,2930	6,51033	0,5078	2,41359	0,7227	6,45981
0,0820	6,98163	0,2969	6,42058	0,5117	2,41180	0,7266	6,54420
0,0859	7,05414	0,3008	6,33322	0,5156	2,41299	0,7305	6,62206
0,0898	7,12606	0,3047	6,24347	0,5195	2,42607	0,7344	6,70111
0,0938	7,19024	0,3086	6,14481	0,5234	2,44271	0,7383	6,78729
0,0977	7,25087	0,3125	6,04080	0,5273	2,45876	0,7422	6,86811
0,1016	7,31208	0,3164	5,94749	0,5313	2,47659	0,7461	6,94122
0,1055	7,36735	0,3203	5,85894	0,5352	2,49382	0,7500	7,01313
0,1094	7,41015	0,3242	5,75671	0,5391	2,51641	0,7539	7,08802
0,1133	7,45413	0,3281	5,64676	0,5430	2,54850	0,7578	7,15696
0,1172	7,49811	0,3320	5,54097	0,5469	2,58476	0,7617	7,22115
0,1211	7,54090	0,3359	5,44290	0,5508	2,62458	0,7656	7,28593
0,1250	7,58369	0,3398	5,34900	0,5547	2,67212	0,7695	7,34299
0,1289	7,62292	0,3438	5,25153	0,5586	2,71729	0,7734	7,39232
0,1328	7,65739	0,3477	5,15525	0,5625	2,76424	0,7773	7,43511
0,1367	7,68532	0,3516	5,05837	0,5664	2,82189	0,7813	7,47909
0,1406	7,71266	0,3555	4,95139	0,5703	2,88608	0,7852	7,51832
0,1445	7,73525	0,3594	4,83787	0,5742	2,95503	0,7891	7,55695
0,1484	7,75545	0,3633	4,73624	0,5781	3,01802	0,7930	7,59736
0,1523	7,78220	0,3672	4,64293	0,5820	3,08221	0,7969	7,63243
0,1563	7,80062	0,3711	4,53417	0,5859	3,15591	0,8008	7,66512
0,1602	7,80716	0,3750	4,42659	0,5898	3,22604	0,8047	7,69483
0,1641	7,81845	0,3789	4,33685	0,5938	3,30152	0,8086	7,72217
0,1680	7,82499	0,3828	4,24057	0,5977	3,38770	0,8125	7,74595
0,1719	7,82856	0,3867	4,13656	0,6016	3,47388	0,8164	7,77328
0,1758	7,82915	0,3906	4,04147	0,6055	3,55411	0,8203	7,79587
0,1797	7,82677	0,3945	3,94518	0,6094	3,63791	0,8242	7,80657
0,1836	7,82024	0,3984	3,84831	0,6133	3,72528	0,8281	7,81370
0,1875	7,80835	0,4023	3,76035	0,6172	3,81740	0,8320	7,82440
0,1914	7,79409	0,4063	3,67060	0,6211	3,91428	0,8359	7,82677
0,1953	7,77507	0,4102	3,57551	0,6250	4,00818	0,8398	7,82677
0,1992	7,75664	0,4141	3,48517	0,6289	4,09793	0,8438	7,82261
0,2031	7,74297	0,4180	3,40078	0,6328	4,19064	0,8477	7,81608
0,2070	7,72455	0,4219	3,31757	0,6367	4,29287	0,8516	7,80894
0,2109	7,69662	0,4258	3,23793	0,6406	4,39153	0,8555	7,79884

<i>0,8594</i>	<i>7,78458</i>	<i>1,0625</i>	<i>3,88694</i>	1,2656	3,45427	1,4688	7,69127
<i>0,8633</i>	<i>7,76734</i>	<i>1,0664</i>	<i>3,79660</i>	1,2695	3,53509	1,4727	7,71623
<i>0,8672</i>	<i>7,75427</i>	<i>1,0703</i>	<i>3,70923</i>	1,2734	3,61533	1,4766	7,73762
<i>0,8711</i>	<i>7,74119</i>	<i>1,0742</i>	<i>3,61236</i>	1,2773	3,69913	1,4805	7,75961
<i>0,8750</i>	<i>7,71623</i>	<i>1,0781</i>	<i>3,51489</i>	1,2813	3,78590	1,4844	7,78517
<i>0,8789</i>	<i>7,68176</i>	<i>1,0820</i>	<i>3,42574</i>	1,2852	3,88040	1,4883	7,80300
<i>0,8828</i>	<i>7,64788</i>	<i>1,0859</i>	<i>3,34075</i>	1,2891	3,97490	1,4922	7,81429
<i>0,8867</i>	<i>7,61697</i>	<i>1,0898</i>	<i>3,25932</i>	1,2930	4,06346	1,4961	7,82321
<i>0,8906</i>	<i>7,58250</i>	<i>1,0938</i>	<i>3,18444</i>	1,2969	4,15974	1,5000	7,82856
<i>0,8945</i>	<i>7,54268</i>	<i>1,0977</i>	<i>3,11133</i>	1,3008	4,26315	1,5039	7,83094
<i>0,8984</i>	<i>7,50167</i>	<i>1,1016</i>	<i>3,03288</i>	1,3047	4,36657	1,5078	7,83153
<i>0,9023</i>	<i>7,45829</i>	<i>1,1055</i>	<i>2,96335</i>	1,3086	4,46404	1,5117	7,82618
<i>0,9063</i>	<i>7,41728</i>	<i>1,1094</i>	<i>2,90035</i>	1,3125	4,56626	1,5156	7,81727
<i>0,9102</i>	<i>7,36795</i>	<i>1,1133</i>	<i>2,83854</i>	1,3164	4,66968	1,5195	7,80300
<i>0,9141</i>	<i>7,31387</i>	<i>1,1172</i>	<i>2,78564</i>	1,3203	4,76834	1,5234	7,78814
<i>0,9180</i>	<i>7,25562</i>	<i>1,1211</i>	<i>2,74166</i>	1,3242	4,87056	1,5273	7,76972
<i>0,9219</i>	<i>7,19856</i>	<i>1,1250</i>	<i>2,68936</i>	1,3281	4,97635	1,5313	7,74951
<i>0,9258</i>	<i>7,13735</i>	<i>1,1289</i>	<i>2,63825</i>	1,3320	5,08036	1,5352	7,73465
<i>0,9297</i>	<i>7,06603</i>	<i>1,1328</i>	<i>2,59783</i>	1,3359	5,18734	1,5391	7,71326
<i>0,9336</i>	<i>6,99233</i>	<i>1,1367</i>	<i>2,56158</i>	1,3398	5,29908	1,5430	7,68413
<i>0,9375</i>	<i>6,92220</i>	<i>1,1406</i>	<i>2,53364</i>	1,3438	5,40190	1,5469	7,65382
<i>0,9414</i>	<i>6,85504</i>	<i>1,1445</i>	<i>2,51046</i>	1,3477	5,50471	1,5508	7,62589
<i>0,9453</i>	<i>6,78313</i>	<i>1,1484</i>	<i>2,48253</i>	1,3516	5,61110	1,5547	7,59320
<i>0,9492</i>	<i>6,70883</i>	<i>1,1523</i>	<i>2,45400</i>	1,3555	5,71273	1,5586	7,55992
<i>0,9531</i>	<i>6,63216</i>	<i>1,1563</i>	<i>2,43558</i>	1,3594	5,80426	1,5625	7,51832
<i>0,9570</i>	<i>6,55015</i>	<i>1,1602</i>	<i>2,42726</i>	1,3633	5,89519	1,5664	7,47315
<i>0,9609</i>	<i>6,46337</i>	<i>1,1641</i>	<i>2,41894</i>	1,3672	5,99147	1,5703	7,42738
<i>0,9648</i>	<i>6,37363</i>	<i>1,1680</i>	<i>2,41656</i>	1,3711	6,08478	1,5742	7,37449
<i>0,9688</i>	<i>6,28210</i>	1,1719	2,42072	1,3750	6,17512	1,5781	7,31981
<i>0,9727</i>	<i>6,18463</i>	1,1758	2,41894	1,3789	6,26308	1,5820	7,26513
<i>0,9766</i>	<i>6,07943</i>	1,1797	2,41597	1,3828	6,34986	1,5859	7,20867
<i>0,9805</i>	<i>5,98018</i>	1,1836	2,42429	1,3867	6,43069	1,5898	7,14805
<i>0,9844</i>	<i>5,88865</i>	1,1875	2,43974	1,3906	6,51508	1,5938	7,07791
<i>0,9883</i>	<i>5,79059</i>	1,1914	2,45638	1,3945	6,59829	1,5977	7,00659
<i>0,9922</i>	<i>5,68599</i>	1,1953	2,47243	1,3984	6,67615	1,6016	6,94062
<i>0,9961</i>	<i>5,57603</i>	1,1992	2,49204	1,4023	6,76470	1,6055	6,87584
<i>1,0000</i>	<i>5,47797</i>	1,2031	2,51522	1,4063	6,85207	1,6094	6,80571
<i>1,0039</i>	<i>5,38823</i>	1,2070	2,54850	1,4102	6,92993	1,6133	6,73023
<i>1,0078</i>	<i>5,29313</i>	1,2109	2,58654	1,4141	7,00125	1,6172	6,65297
<i>1,0117</i>	<i>5,19566</i>	1,2148	2,62220	1,4180	7,07138	1,6211	6,57095
<i>1,0156</i>	<i>5,09879</i>	1,2188	2,66380	1,4219	7,14032	1,6250	6,48239
<i>1,0195</i>	<i>4,99418</i>	1,2227	2,70957	1,4258	7,20332	1,6289	6,39087
<i>1,0234</i>	<i>4,87888</i>	1,2266	2,75295	1,4297	7,26513	1,6328	6,30172
<i>1,0273</i>	<i>4,76834</i>	1,2305	2,80406	1,4336	7,32456	1,6367	6,20841
<i>1,0313</i>	<i>4,67027</i>	1,2344	2,86766	1,4375	7,37984	1,6406	6,10737
<i>1,0352</i>	<i>4,56864</i>	1,2383	2,93541	1,4414	7,42441	1,6445	6,00574
<i>1,0391</i>	<i>4,45750</i>	1,2422	3,00079	1,4453	7,46839	1,6484	5,91362
<i>1,0430</i>	<i>4,36478</i>	1,2461	3,06438	1,4492	7,51237	1,6523	5,81852
<i>1,0469</i>	<i>4,27504</i>	1,2500	3,13689	1,4531	7,55100	1,6563	5,71570
<i>1,0508</i>	<i>4,17163</i>	1,2539	3,21059	1,4570	7,59498	1,6602	5,60456
<i>1,0547</i>	<i>4,07594</i>	1,2578	3,28369	1,4609	7,63302	1,6641	5,49877
<i>1,0586</i>	<i>3,98382</i>	1,2617	3,36749	1,4648	7,66333	1,6680	5,40487

Tabela 39 - Valores de deslocamento do ciclo 1 - sensor 1

$\cos \theta$	θ	ciclo t (s)	1 Tensão (V)	$y = 0,99 - 0,99 \cos \theta$ Deslocamento (mm)
1,000	0,0000	0,5000	2,40705	0,000
0,999	0,0367	0,5039	2,40705	0,001
0,997	0,0735	0,5078	2,41359	0,003
0,994	0,1102	0,5117	2,41180	0,006
0,989	0,1470	0,5156	2,41299	0,011
0,983	0,1837	0,5195	2,42607	0,017
0,976	0,2205	0,5234	2,44271	0,024
0,967	0,2572	0,5273	2,45876	0,033
0,957	0,2940	0,5313	2,47659	0,042
0,946	0,3307	0,5352	2,49382	0,054
0,933	0,3674	0,5391	2,51641	0,066
0,919	0,4042	0,5430	2,54850	0,080
0,904	0,4409	0,5469	2,58476	0,095
0,888	0,4777	0,5508	2,62458	0,111
0,871	0,5144	0,5547	2,67212	0,128
0,852	0,5512	0,5586	2,71729	0,147
0,832	0,5879	0,5625	2,76424	0,166
0,811	0,6246	0,5664	2,82189	0,187
0,789	0,6614	0,5703	2,88608	0,209
0,766	0,6981	0,5742	2,95503	0,232
0,742	0,7349	0,5781	3,01802	0,256
0,717	0,7716	0,5820	3,08221	0,280
0,691	0,8084	0,5859	3,15591	0,306
0,664	0,8451	0,5898	3,22604	0,333
0,636	0,8819	0,5938	3,30152	0,361
0,607	0,9186	0,5977	3,38770	0,389
0,577	0,9553	0,6016	3,47388	0,418
0,547	0,9921	0,6055	3,55411	0,449
0,516	1,0288	0,6094	3,63791	0,479
0,484	1,0656	0,6133	3,72528	0,511
0,452	1,1023	0,6172	3,81740	0,543
0,418	1,1391	0,6211	3,91428	0,576
0,385	1,1758	0,6250	4,00818	0,609
0,351	1,2125	0,6289	4,09793	0,643
0,316	1,2493	0,6328	4,19064	0,677
0,281	1,2860	0,6367	4,29287	0,712
0,245	1,3228	0,6406	4,39153	0,747
0,210	1,3595	0,6445	4,48781	0,782
0,174	1,3963	0,6484	4,59301	0,818
0,137	1,4330	0,6523	4,69642	0,854
0,101	1,4698	0,6563	4,79627	0,890
0,064	1,5065	0,6602	4,89968	0,926
0,028	1,5432	0,6641	5,01201	0,963
-0,009	1,5800	0,6680	5,11840	0,999
-0,046	1,6167	0,6719	5,23013	1,035
-0,083	1,6535	0,6758	5,33890	1,072
-0,119	1,6902	0,6797	5,43458	1,108
-0,156	1,7270	0,6836	5,53562	1,144

cos θ	θ	ciclo t (s)	1 Tensão (V)	$y = 0,99 - 0,99 \cos \theta$ Deslocamento (mm)
-0,192	1,7637	0,6875	5,63725	1,180
-0,228	1,8004	0,6914	5,73353	1,215
-0,263	1,8372	0,6953	5,82328	1,251
-0,299	1,8739	0,6992	5,91718	1,286
-0,333	1,9107	0,7031	6,01584	1,320
-0,368	1,9474	0,7070	6,10915	1,354
-0,402	1,9842	0,7109	6,20246	1,388
-0,435	2,0209	0,7148	6,29458	1,421
-0,468	2,0577	0,7188	6,37898	1,453
-0,500	2,0944	0,7227	6,45981	1,485
-0,531	2,1311	0,7266	6,54420	1,516
-0,562	2,1679	0,7305	6,62206	1,547
-0,592	2,2046	0,7344	6,70111	1,576
-0,621	2,2414	0,7383	6,78729	1,605
-0,650	2,2781	0,7422	6,86811	1,633
-0,677	2,3149	0,7461	6,94122	1,661
-0,704	2,3516	0,7500	7,01313	1,687
-0,729	2,3883	0,7539	7,08802	1,712
-0,754	2,4251	0,7578	7,15696	1,737
-0,778	2,4618	0,7617	7,22115	1,760
-0,800	2,4986	0,7656	7,28593	1,782
-0,822	2,5353	0,7695	7,34299	1,804
-0,842	2,5721	0,7734	7,39232	1,824
-0,861	2,6088	0,7773	7,43511	1,843
-0,879	2,6456	0,7813	7,47909	1,861
-0,896	2,6823	0,7852	7,51832	1,877
-0,912	2,7190	0,7891	7,55695	1,893
-0,926	2,7558	0,7930	7,59736	1,907
-0,940	2,7925	0,7969	7,63243	1,920
-0,952	2,8293	0,8008	7,66512	1,932
-0,962	2,8660	0,8047	7,69483	1,943
-0,972	2,9028	0,8086	7,72217	1,952
-0,980	2,9395	0,8125	7,74595	1,960
-0,986	2,9762	0,8164	7,77328	1,966
-0,992	3,0130	0,8203	7,79587	1,972
-0,996	3,0497	0,8242	7,80657	1,976
-0,998	3,0865	0,8281	7,81370	1,978
-1,000	3,1232	0,8320	7,82440	1,980
-1,000	3,1600	0,8359	7,82677	1,980
-0,998	3,1967	0,8398	7,82677	1,978
-0,996	3,2335	0,8438	7,82261	1,976
-0,992	3,2702	0,8477	7,81608	1,972
-0,986	3,3069	0,8516	7,80894	1,966
-0,980	3,3437	0,8555	7,79884	1,960
-0,972	3,3804	0,8594	7,78458	1,952
-0,962	3,4172	0,8633	7,76734	1,943
-0,952	3,4539	0,8672	7,75427	1,932
-0,940	3,4907	0,8711	7,74119	1,920
-0,926	3,5274	0,8750	7,71623	1,907

cos θ	θ	ciclo t (s)	1 Tensão (V)	$y = 0,99 - 0,99 \cos \theta$ Deslocamento (mm)
-0,912	3,5641	0,8789	7,68176	1,893
-0,896	3,6009	0,8828	7,64788	1,877
-0,879	3,6376	0,8867	7,61697	1,861
-0,861	3,6744	0,8906	7,58250	1,843
-0,842	3,7111	0,8945	7,54268	1,824
-0,822	3,7479	0,8984	7,50167	1,804
-0,800	3,7846	0,9023	7,45829	1,782
-0,778	3,8214	0,9063	7,41728	1,760
-0,754	3,8581	0,9102	7,36795	1,737
-0,729	3,8948	0,9141	7,31387	1,712
-0,704	3,9316	0,9180	7,25562	1,687
-0,677	3,9683	0,9219	7,19856	1,661
-0,650	4,0051	0,9258	7,13735	1,633
-0,621	4,0418	0,9297	7,06603	1,605
-0,592	4,0786	0,9336	6,99233	1,576
-0,562	4,1153	0,9375	6,92220	1,547
-0,531	4,1520	0,9414	6,85504	1,516
-0,500	4,1888	0,9453	6,78313	1,485
-0,468	4,2255	0,9492	6,70883	1,453
-0,435	4,2623	0,9531	6,63216	1,421
-0,402	4,2990	0,9570	6,55015	1,388
-0,368	4,3358	0,9609	6,46337	1,354
-0,333	4,3725	0,9648	6,37363	1,320
-0,299	4,4093	0,9688	6,28210	1,286
-0,263	4,4460	0,9727	6,18463	1,251
-0,228	4,4827	0,9766	6,07943	1,215
-0,192	4,5195	0,9805	5,98018	1,180
-0,156	4,5562	0,9844	5,88865	1,144
-0,119	4,5930	0,9883	5,79059	1,108
-0,083	4,6297	0,9922	5,68599	1,072
-0,046	4,6665	0,9961	5,57603	1,035
-0,009	4,7032	1,0000	5,47797	0,999
0,028	4,7399	1,0039	5,38823	0,963
0,064	4,7767	1,0078	5,29313	0,926
0,101	4,8134	1,0117	5,19566	0,890
0,137	4,8502	1,0156	5,09879	0,854
0,174	4,8869	1,0195	4,99418	0,818
0,210	4,9237	1,0234	4,87888	0,782
0,245	4,9604	1,0273	4,76834	0,747
0,281	4,9972	1,0313	4,67027	0,712
0,316	5,0339	1,0352	4,56864	0,677
0,351	5,0706	1,0391	4,45750	0,643
0,385	5,1074	1,0430	4,36478	0,609
0,418	5,1441	1,0469	4,27504	0,576
0,452	5,1809	1,0508	4,17163	0,543
0,484	5,2176	1,0547	4,07594	0,511
0,516	5,2544	1,0586	3,98382	0,479

cos θ	θ	ciclo t (s)	1 Tensão (V)	$y = 0,99 - 0,99 \cos \theta$ Deslocamento (mm)
0,547	5,2911	1,0625	3,88694	0,449
0,577	5,3278	1,0664	3,79660	0,418
0,607	5,3646	1,0703	3,70923	0,389
0,636	5,4013	1,0742	3,61236	0,361
0,664	5,4381	1,0781	3,51489	0,333
0,691	5,4748	1,0820	3,42574	0,306
0,717	5,5116	1,0859	3,34075	0,280
0,742	5,5483	1,0898	3,25932	0,256
0,766	5,5851	1,09375	3,18444	0,232
0,789	5,6218	1,09766	3,11133	0,209
0,811	5,6585	1,10156	3,03288	0,187
0,832	5,6953	1,10547	2,96335	0,166
0,852	5,7320	1,10938	2,90035	0,147
0,871	5,7688	1,11328	2,83854	0,128
0,888	5,8055	1,11719	2,78564	0,111
0,904	5,8423	1,12109	2,74166	0,095
0,919	5,8790	1,12500	2,68936	0,080
0,933	5,9157	1,12891	2,63825	0,066
0,946	5,9525	1,13281	2,59783	0,054
0,957	5,9892	1,13672	2,56158	0,042
0,967	6,0260	1,14063	2,53364	0,033
0,976	6,0627	1,14453	2,51046	0,024
0,983	6,0995	1,14844	2,48253	0,017
0,989	6,1362	1,15234	2,45400	0,011
0,994	6,1730	1,15625	2,43558	0,006
0,997	6,2097	1,16016	2,42726	0,003
0,999	6,2464	1,16406	2,41894	0,001
1,000	6,2832	1,16797	2,41656	0,000

2.2.1. Frequências de rotação do sistema medidas pelo analisador de sinal para os sensores 1 e 2

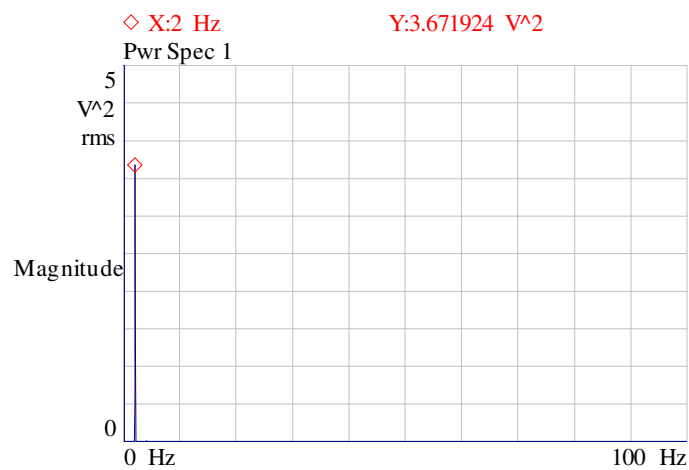


Figura 32 -Frequência de 2 Hz do sensor 1

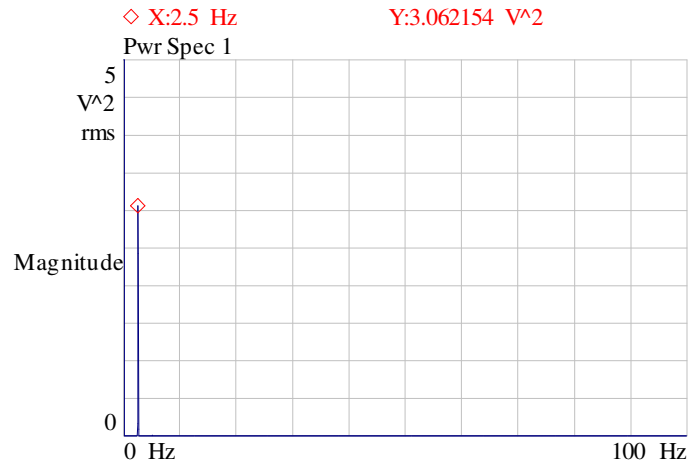


Figura 33 - Frequência de 2,5 Hz do sensor 1

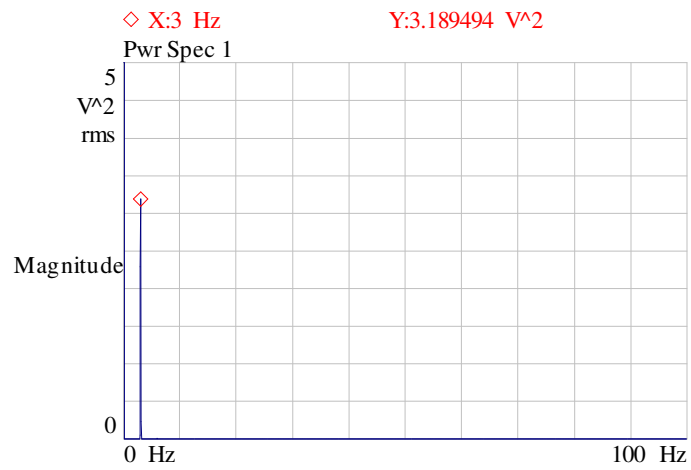


Figura 34 - Frequência de 3 Hz do sensor 1

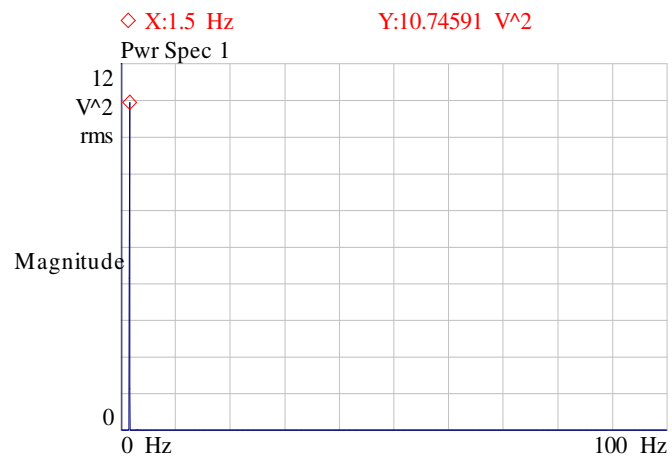


Figura 35 - Frequência de 1,5 Hz do sensor 2

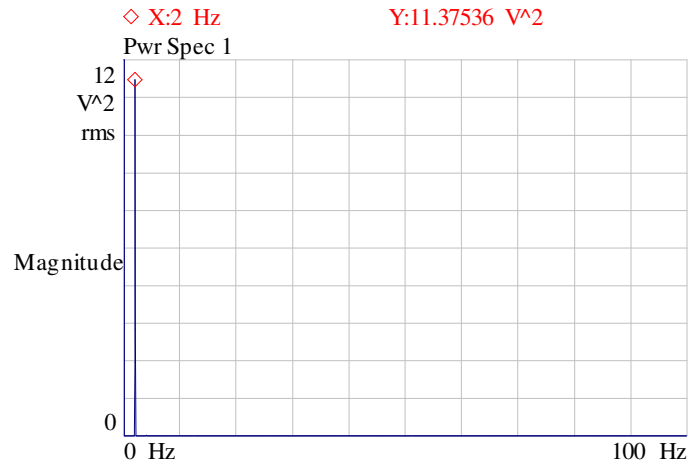


Figura 36 - Frequência de 2 Hz do sensor 2

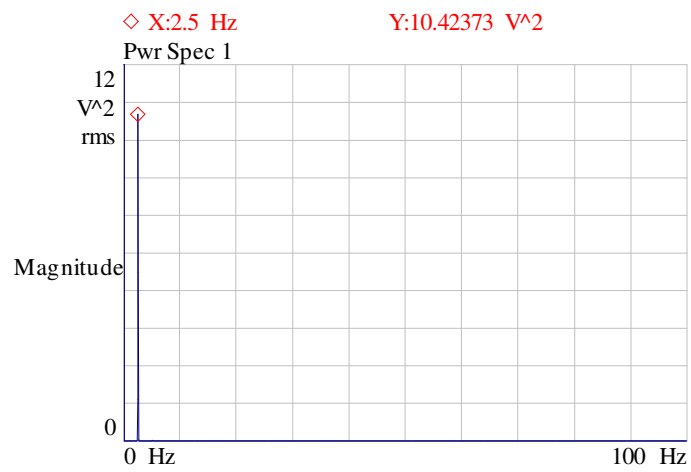


Figura 37 - Frequência de 2,5 Hz do sensor 2

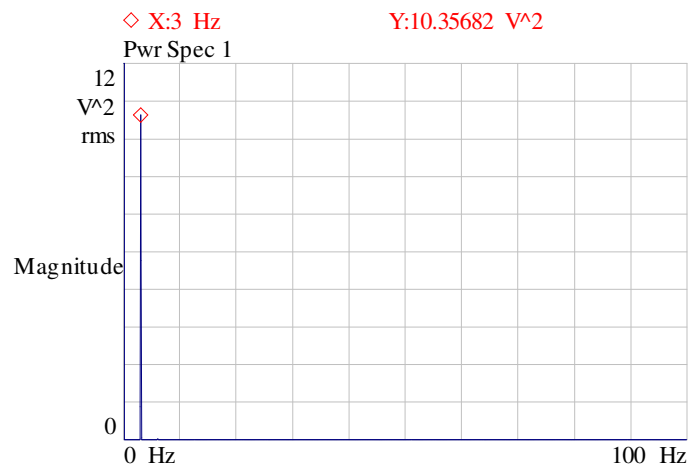


Figura 38 - Frequência de 3 Hz do sensor 2

2.2.2. Deslocamento medido pelo analisador de sinal para os sensores 1 e 2, nas respectivas freqüências

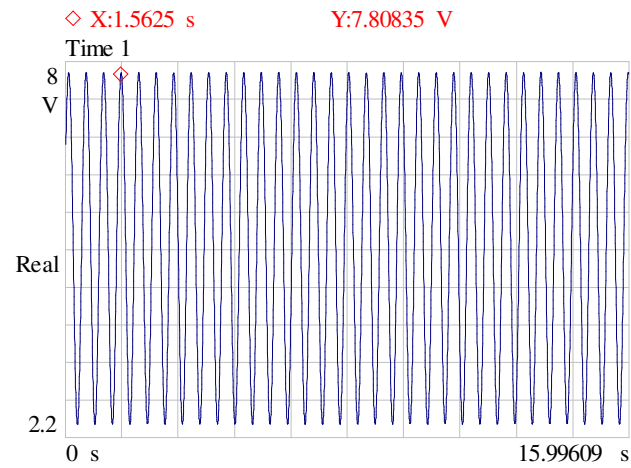


Figura 39 - Deslocamento do sensor 1 na freqüência de 2 Hz

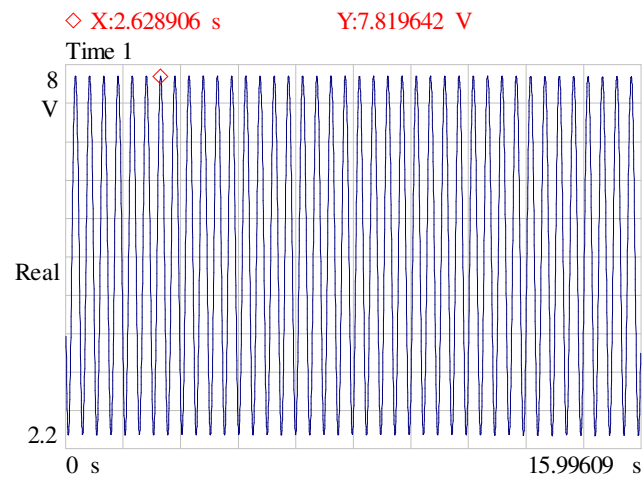


Figura 40 - Deslocamento do sensor 1 na freqüência de 2,5 Hz

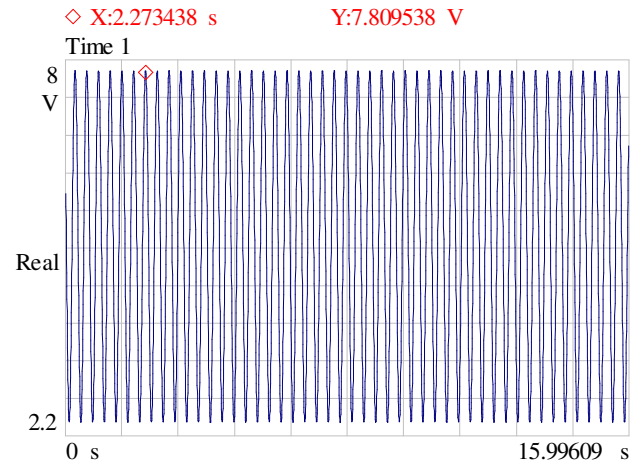


Figura 41 - Deslocamento do sensor 1 na freqüência de 3 Hz

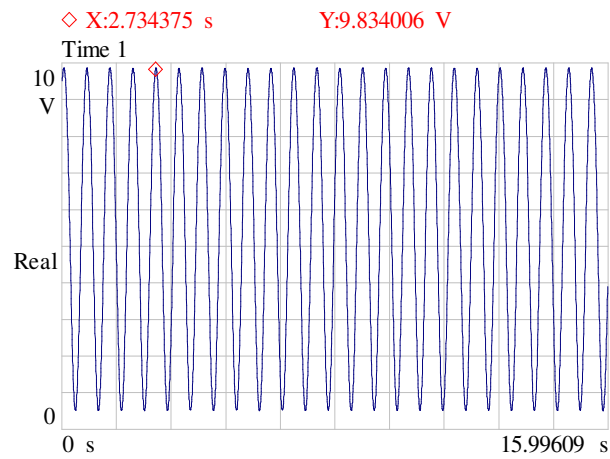


Figura 42 - Deslocamento do sensor 2 na freqüência de 1,5 Hz

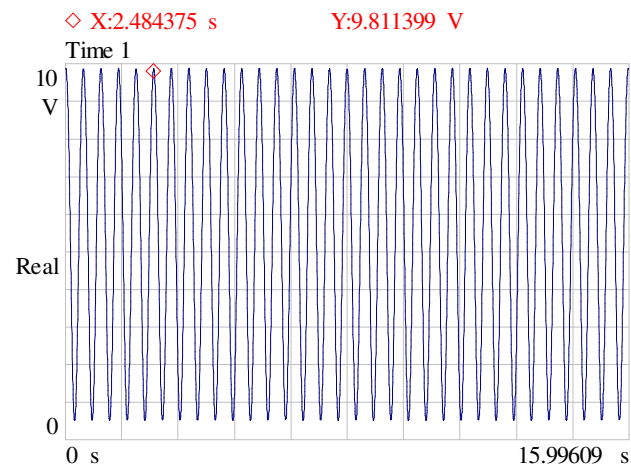


Figura 43 - Deslocamento do sensor 2 na freqüência de 2 Hz

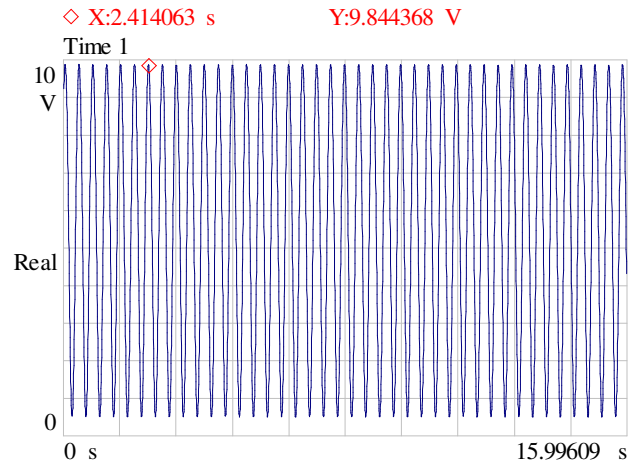


Figura 44 - Deslocamento do sensor 2 na frequência de 2,5 Hz

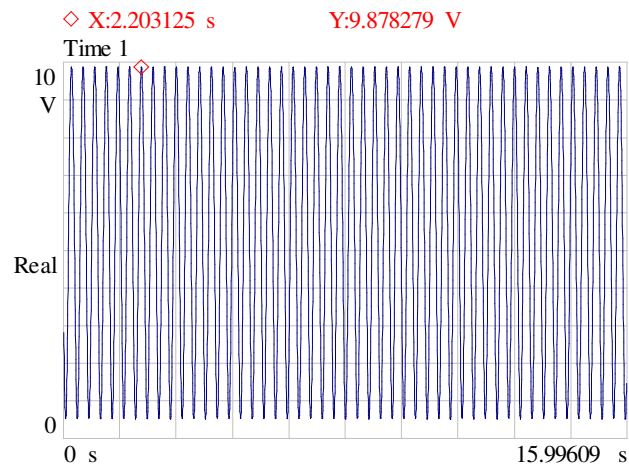


Figura 45 - Deslocamento do sensor 2 na frequência de 3 Hz

2.2.3. Curva da calibração dinâmica dos sensores 1 e 2, nas respectivas frequências

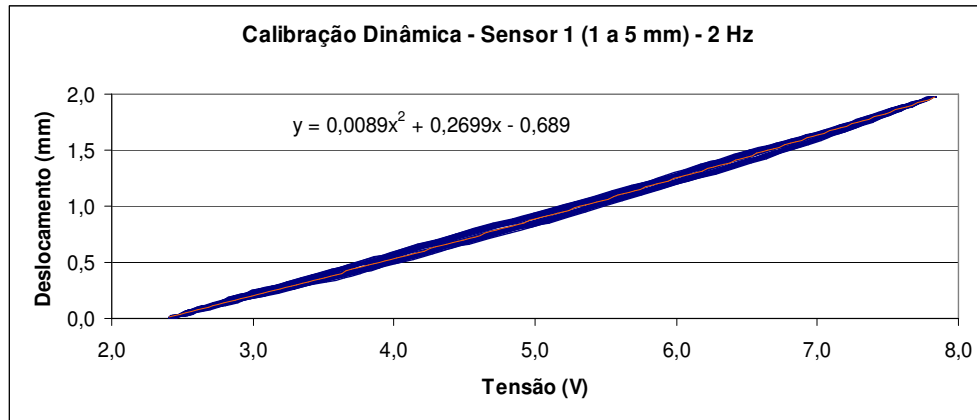


Figura 46 - Curva de calibração - sensor 1 - 2 Hz

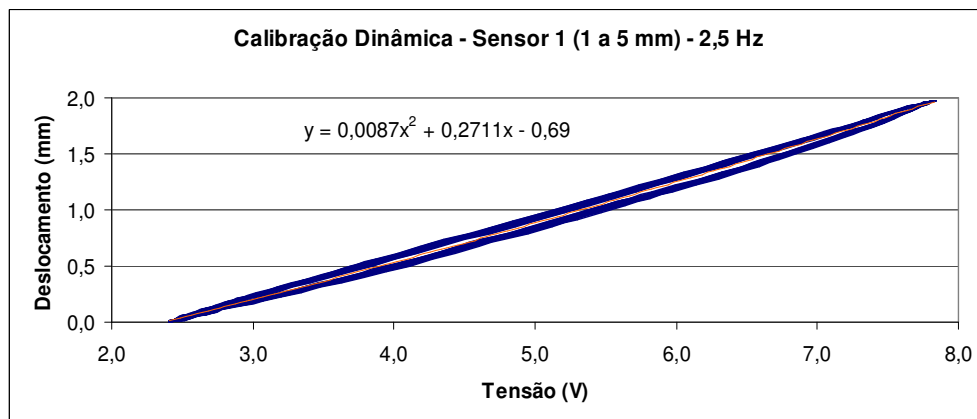


Figura 47 - Curva de calibração - sensor 1 - 2,5 Hz

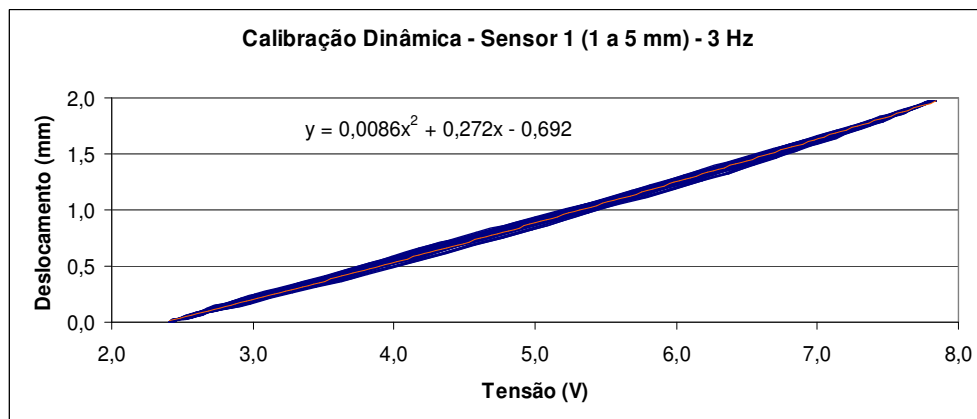


Figura 48 - Curva de calibração - sensor 1 - 3 Hz

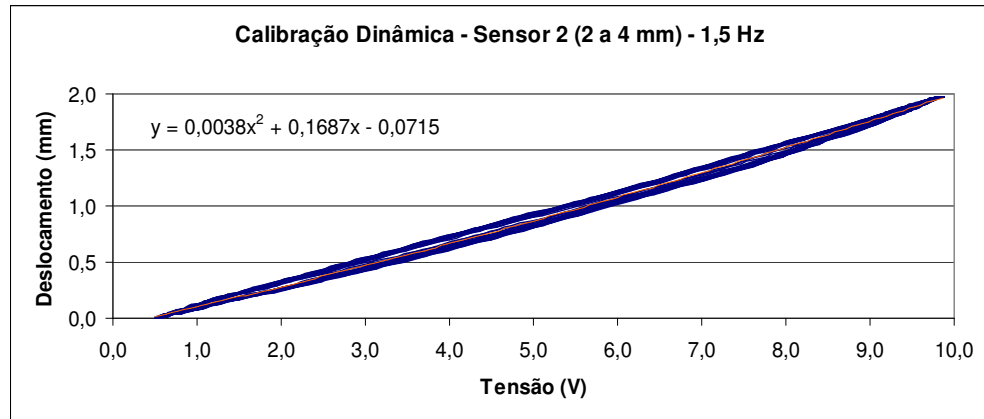


Figura 49 - Curva de calibração - sensor 2 - 1,5 Hz

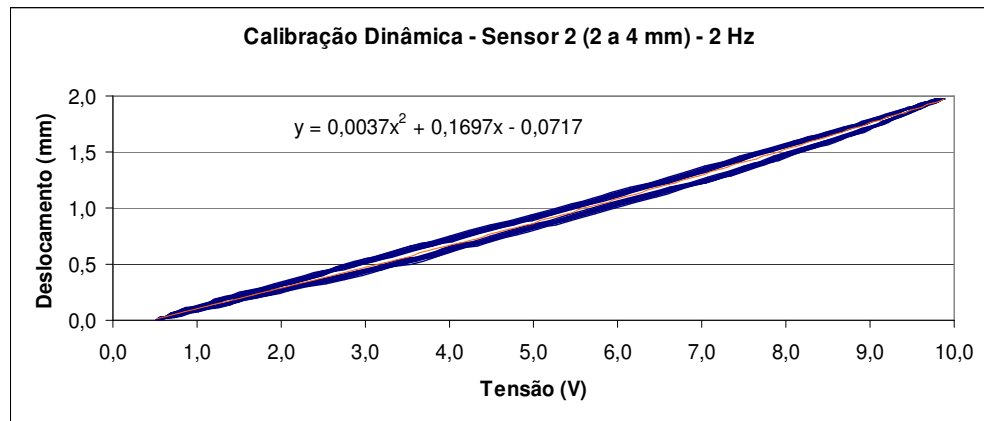


Figura 50 - Curva de calibração - sensor 2 - 2 Hz

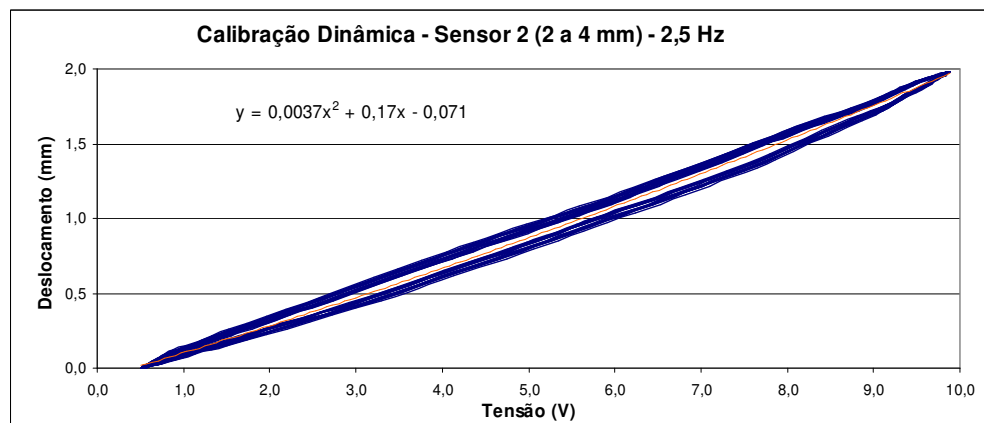


Figura 51 - Curva de calibração - sensor 2 - 2,5 Hz

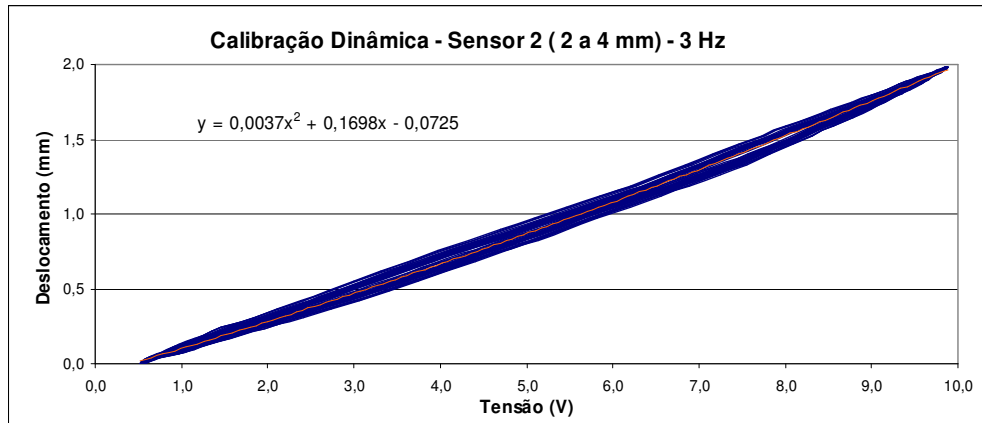


Figura 52 - Curva de calibração - sensor 2 - 3 Hz