

## Referências Bibliográficas

AMBROSIUS, E. E; FELLOWS, R. D.; BRICKMAN A. D. **Mechanical Measurement and Instrumentation**. 1. ed. New York: The Ronald Press Company, 1966.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISO/IEC Guia 2: normalização e atividades relacionadas – vocabulário geral**, Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **MB 3160**: sistema de freios rodoviários: ensaio de desempenho. Rio de Janeiro, 2001. 9 p

\_\_\_\_\_. **NBR 6067**: veículos rodoviários automotores, seus rebocados e combinados. Rio de Janeiro, 1989. 11 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7024**: veículos rodoviários automotores leves: medição do consumo de combustível. Rio de Janeiro, 2002. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10312**: veículos rodoviários automotores leves – determinação da resistência ao rolamento por desaceleração livre em pista de rolamento e simulação no dinamômetro. Rio de Janeiro, 1991. 6 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10966**: desempenho de sistema de freios para veículos rodoviários. Rio de Janeiro, 1990. 8 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10967**: sistema de freios para veículos rodoviários: ensaio de desempenho. Rio de Janeiro, 1999. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / INMETRO / SBM. **Guia para Expressão da Incerteza de Medição – Edição Brasileira Revisada**, Rio de Janeiro, 1998.

BARBOSA, C. R. H. **Notas de aula do curso de fundamentos da instrumentação para metrologia**. PUC-Rio, 2003.

BENDAT, J. S.; PIERSOL, A. G. **Random Data: Analysis and Measurement Procedures**. 2. ed. John Willey & Sons, Inc, 1986.

BEYON, J. Y. **LabView: programming, data acquisition and analysis**. Prentice Hall, 2001. ISBN 0-13-030367-4.

BRASIL. Lei n.º 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 set. 1997. Seção 1. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 mai 2004.

CASTRUP, H. Uncertainty analysis for risk management. **Integrated Sciences Group**, Bakersfield, California, p 01-27.

DALLY; J. W.; RILEY; W. F.; McCONNELL; K. G. **Instrumentation for Engineering Measurements**. 2. ed. John Wiley & Sons, Inc, 1993.

DATRON – MESSTECHNIK. **Correvit® EEP-2 Vehicle and Evaluation Computer with Software version V 2.XX – Instructions.**

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. **DIN 70020 Parte 3. Construção de Veículos Automotores:** velocidade máxima, aceleração, diversos, conceitos, condições de ensaio. 1968.

\_\_\_\_\_. **Road vehicles:** vehicle dynamics and road-holding ability; vocabulary (ISO 8855:1991, modified). January 1994.

CORRSYS-DATRON, Homepage institucional da CORRSYS-DATRON Sensorsystems. Contém informações técnicas sobre os produtos comercializados pela empresa. Disponível em: <<http://www.corrsys-datron.com>>. Acesso em 03 maio 2004.

GRANDE Enciclopédia Prática - mecânica do automóvel. Rio de Janeiro: Editora Século Futuro Ltda, 1988.

ERVIN III, F. W. New Technologies Make Vehicle Testing More Accurate, Easy and Efficient. **ITEA Journal**, p. 27-37, December 2001/ January 2002.

GENTA, G. **Motor Vehicle Dynamics:** modeling and simulation, London: World Scientific Publishing, 1997.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics.** 6. ed. Society of Automotive Engineers, Inc., 1992. ISBN 1-56091-199-9.

HELFRICK A. D.; COOPER W. D. **Instrumentação Eletrônica Moderna e Técnicas de Medição.** Tradução de Antônio Carlos Inácio Moreira e Hortêncio Alves Borges. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil Ltda, 1994. Título original: Modern electronic instrumentation and measurement techniques.

HOLMAN, J. P. **Experimental Methods for Engineers.** 3. ed. McGraw-Hill Kogakusha, 1978.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4130. Road vehicles:** three dimensional reference system and fiducial marks - definitions. 1978.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Avaliação da Conformidade. Revisão: 23 out 2003.

\_\_\_\_\_. **NIT-DICLA-021:** expressão da incerteza de medição. Revisão: 02, 2003.

\_\_\_\_\_. Quadro Geral de Unidades de Medida – **Duque de Caxias, 1989.**

\_\_\_\_\_. Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – **Brasília – SENAI/DN – 2000.**

LONGTIN, J. P. The uncertainty tree: reducing the uncertainty of uncertainty analysis. **Review os Scientific Instruments**, v. 73, n. 10, p. 3698-3700, out. 2002.

LUCAS, G. G. **Road Vehicle Performance:** methods of measurement and calculation. 2. ed. Gordon and Breach Science Publishers, 1994. (Transportation Studies vii). ISBN 0-677-21400-6.

MORISON, R. **Noise and other Interfering Signals.** New York: John Wiley & Sons, Inc, 1992. ISBN 0-471-54288-1.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. **BNC-2120 Installation Guide**. 1999-2003. Disponível em: <<http://www.ni.com>>.

\_\_\_\_\_. **E-series calibration procedures**. Disponível em :<<http://www.ni.com>>.

\_\_\_\_\_. **Measurement and automation – catalog 2003**. Disponível em: <<http://www.ni.com>>.

\_\_\_\_\_. **NI 6034E/6035E/6036E Family Specifications**. 2003. Disponível em: <<http://www.ni.com>>.

\_\_\_\_\_. **NI calibration**. Disponível em :<<http://www.ni.com>>.

WONG, J. W. **Theory of Ground Vehicles**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2001. ISBN 0-471-35461-9.

ROBERT BOSCH GMBH. **Automotive Handbook**. 2. ed. Stuttgart, 1986.

SILVA, M. C. G. Measurements of Comfort in Vehicles. **Measurement Science and Technology**, p. R41-R60, 30 April 2002.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE J670: vehicle dynamics terminology**. July 1976.

\_\_\_\_\_. **SAE J1491: vehicle acceleration measurement**. June 1990.

WICKS, A. L; FAHEY S. O’F. Digital Date: Sample Rate, Aliasing and Digital Attenuation. **Experimental Techniques**, p. 38-40, September/October 1999.

\_\_\_\_\_. The Process of Analog-to-Digital Conversion. **Experimental Techniques**, p. 42-43, November/December 1999.



# Apêndice I

## Análise Experimental

O presente Apêndice apresenta conceitos que estão implícitos ao procedimento de análise experimental que foi empregado no desenvolvimento deste trabalho, sendo que todos os conceitos citados aqui foram empregados em maior ou menor proporção.

Segundo Holman (1978), existem algumas formas de se analisar os resultados experimentais. Esta análise varia desde uma simples discussão sobre os resultados até uma análise teórica mais complexa dos erros envolvidos no experimento e dos dados encontrados.

### I.1. Erros experimentais

Segundo Dally *et al.* (1993), quando se realiza uma medição são introduzidos os chamados erros experimentais. Tais erros são decorrentes das seguintes causas:

- acumulação do erro aceitável em cada elemento do sistema;
- funcionamento impróprio de cada elemento do sistema;
- efeito do transdutor no processo;
- sensibilidade dual do transdutor;
- outras fontes.

#### I.1.1. Acumulação do erro aceitável

Todos os elementos de um sistema de instrumentação possuem seus erros de medição definidos pelos seus fabricantes, sendo que o erro final do sistema será o erro combinado de todos os elementos do sistema. Desta forma o erro pode ser propagado da seguinte forma:

$$\varepsilon_a = \sqrt{\varepsilon_T^2 + \varepsilon_{SC}^2 + \varepsilon_A^2 + \varepsilon_R^2} \quad (I.1)$$

nesta expressão:

- $\varepsilon_T$  é o erro do transdutor;
- $\varepsilon_{SC}$  é o erro do condicionador de sinais;
- $\varepsilon_A$  é o erro do amplificador;
- $\varepsilon_R$  é o erro do medidor.

### I.1.2. Funcionamento impróprio dos instrumentos

Qualquer que seja o sistema de instrumentação se ele não for adequadamente utilizado ou ajustado para uso e calibrado, podem ocorrer erros de leitura. O sistema de medição pode ter um desvio inicial (em inglês *zero offset*) que se propaga por toda a faixa. A Figura I.1 ilustra o funcionamento de um instrumento.

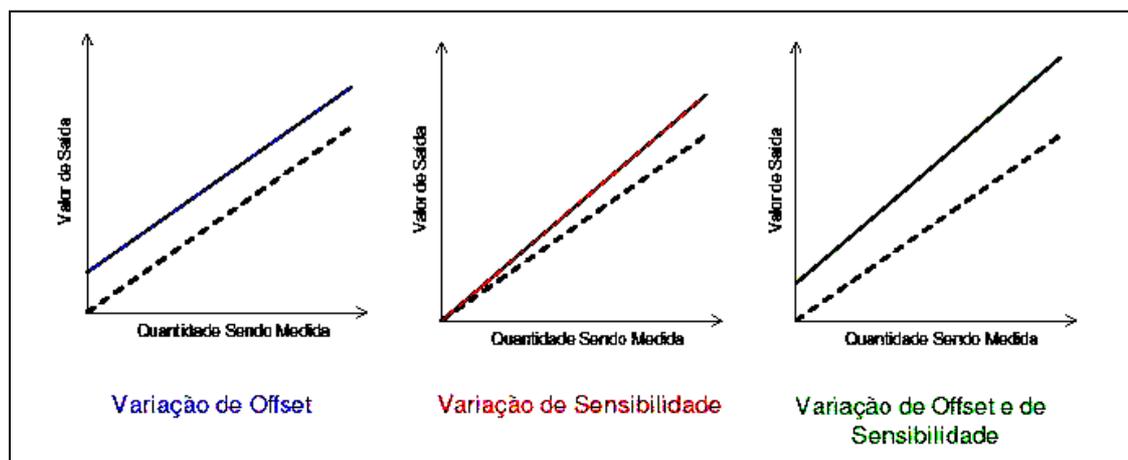


Figura I.1: Desvio inicial e variação de linearidade.  
Fonte: Barbosa (2003).

Para o sistema da figura acima o valor de saída será  $Q_o$ , que é medido em função da quantidade sendo medida, que será chamada de  $Q_i$ . Uma porção significativa da curva pode ser representada por uma linha reta que é ajustada empregando-se, por exemplo, o método dos mínimos quadrados. O coeficiente de inclinação da curva é a sensibilidade do instrumento, sendo dado pela expressão:

$$S = \frac{\Delta Q_o}{\Delta Q_i} \Rightarrow Q_o = S \cdot Q_i \quad (I.2)$$

No caso da Figura I.1 o ajuste não passa pela origem, passando a correlação entre o valor de saída e o valor de entrada ser da seguinte forma:

$$Q_o = S \cdot Q_i + Z_0 \quad (I.3)$$

nesta expressão  $Z_0$  é o desvio inicial.

Para valores muito elevados de entrada, normalmente próximos ao fundo de escala do instrumento, a curva de sensibilidade deixa de ser uma linha reta. Quando este desvio aumenta muito, os valores lidos não são válidos por se ter extrapolado a faixa de medição do instrumento, o mesmo ocorre para valores muito baixos (próximo do início da escala). Para minimizar os erros decorrentes das leituras nestes pontos, estipula-se um limite inferior e superior para que as leituras possam ser efetuadas com a maior exatidão possível, constituindo a faixa nominal do instrumento.

A diferença, em módulo, entre os dois limites da faixa é conhecida como amplitude e é dada pela expressão:

$$s = Q_i^R - Q_i^L \quad (I.4)$$

nesta expressão:

- $Q_i^R$  é o limite superior;
- $Q_i^L$  é o limite inferior.

### **I.1.3. Efeito do transdutor no processo**

Segundo Dally *et al.* (1993), o transdutor deve ser selecionado e colocado no processo de modo a não afetá-lo. Caso a instalação do transdutor afete o

processo, isso pode ocasionar sérios erros de medição. Para a maioria dos instrumentos, o tamanho e o peso do transdutor podem ser relativamente pequenos em comparação ao peso e dimensão dos demais componentes do sistema. O transdutor também pode requerer uma pequena força e consumir pouca energia do processo para a sua operação.

#### **I.1.4. Erro de sensibilidade dual**

O transdutor é construído para medir uma determinada grandeza, porém eles, normalmente, exibem sensibilidade a uma ou mais grandezas como temperatura e aceleração. Caso o transdutor seja empregado para medir uma determinada grandeza como, por exemplo, pressão e a temperatura também varie, o valor medido de pressão poderá ser diferente devido à sensibilidade dual do transdutor. Essa variação da sensibilidade pode-se dar no desvio inicial do transdutor, ou seja, na estabilidade do zero ou na sensibilidade ou fator de escala.

Uma forma de minimizar estes efeitos é a calibração constante dos equipamentos e a escolha do transdutor adequado àquele tipo de condição de operação.

#### **I.1.5. Outros erros**

Existem ainda outras fontes de erros como o efeito dos fios devido a fatores como a sua resistência interna, o ruído eletrônico devido a sinais espúrios que são captados pelo transdutor e a operação humana.

### **I.2. Minimização dos erros experimentais**

Os procedimentos mais aceitos para a minimização dos erros nos sistemas de medição são os seguintes:

- correta seleção do transdutor;

- verificação da exatidão de cada elemento do sistema de instrumentação e a determinação do erro máximo aceitável;
- calibração dos instrumentos;
- conhecimento do processo de medição, do mensurando e do meio no qual ele se encontra;
- conexão correta entre os componentes do sistema, preferencialmente com fios que não sofram efeitos de interferência eletromagnética externa (blindados).
- verificação se há ruídos eletrônicos no sistema;
- calibração de todo o sistema de medição;
- estimativa do erro total de medição do sistema.

Estas recomendações não garantem uma correta medição mas minimizam os problemas decorrentes dos erros produzidos durante o processo de medição.

### **I.3. Distribuições de probabilidades**

Normalmente quando se realiza uma medição não se utiliza apenas uma medida e sim uma série delas. Estas medidas normalmente variam em torno de um valor central, que pode ou não estar próximo do valor verdadeiro do mensurando.

Segundo o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (1998), na maioria dos casos a melhor estimativa disponível do valor esperado de uma grandeza, que varie aleatoriamente e para a qual  $n$  observações independentes foram obtidas sob as mesmas condições de medição, é a média aritmética destas  $n$  observações. Isto pode ser expresso da seguinte forma:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (\text{I.5})$$

Já segundo Holman (1978), o erro de medição é expresso por:

$$d_k = q_k - \bar{q} \quad (\text{I.6})$$

Ainda segundo o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (1998), para se determinar a variação das medições em torno do valor médio emprega-se o desvio padrão experimental que é dado por:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2 \quad (\text{I.7})$$

ou, segundo o VIM (2000), para uma série de medições de um mesmo mensurando, a grandeza “s”, que caracteriza a dispersão dos resultados, é dada pela expressão:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{I.8})$$

na qual  $x_i$  representa o resultado da “iésima” medição e  $\bar{x}$  representa a média aritmética dos “n” resultados considerados.

A partir de ambas as expressões pode-se obter o desvio padrão experimental da média, ou seja, da melhor estimativa de onde este valor médio se encontra. Isto é dado pela expressão:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (\text{I.9})$$

Estes valores medidos estão distribuídos ao redor de um valor central segundo uma distribuição de probabilidade. Segundo o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (1998), as distribuições empregadas para a análise de dados são a quadrada, a triangular e a Gaussiana.

### **I.3.1. Distribuição Gaussiana**

Segundo Dally *et al.* (1993), a distribuição Gaussiana é representada por um diagrama normalizado de frequência relativa (Figura I.2). Esta distribuição pode

ser completamente definida por dois parâmetros que são a média  $\mu$  e o desvio padrão  $\sigma$ . A expressão da frequência relativa para esta distribuição é a seguinte:

$$p(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left[-(t - \mu)^2 / 2 \cdot \sigma^2\right] \quad (\text{I.10})$$

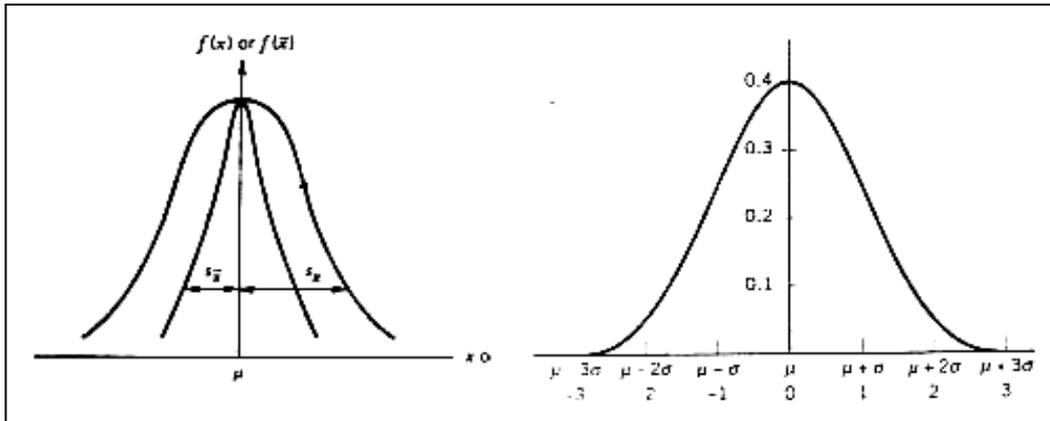


Figura I.2: Distribuição de probabilidade Gaussiana.

### I.3.2. Critério de Chauvenet

Segundo Holman (1978), o Critério de Chauvenet especifica que uma leitura pode ser rejeitada se a probabilidade de se obter um dado desvio da média for menor que  $1/2 \cdot n$ . A aplicação deste critério elimina pontos duvidosos da leitura que se encontravam muito afastados da média.

### I.3.3. Distribuição retangular

É a distribuição cuja função densidade de probabilidade é dada por:

$$p(t) = 1/2 \cdot a \text{ para } a_- \leq t \leq a_+;$$

$$p(t) = 0 \text{ para outros valores de } t;$$

sendo seu desvio padrão dado por:

$$\sigma = a/\sqrt{3} \quad (\text{I.11})$$

### I.3.4. Distribuição triangular

É a distribuição cuja função densidade de probabilidade é dada por:

$$p(t) = (t - a_-) / a^2 \text{ para } a_- \leq t \leq (a_+ + a_-) / 2;$$

$$p(t) = (a_+ - t) / a^2 \text{ para } (a_+ + a_-) / 2 \leq t \leq a_+;$$

$$p(t) = 0 \text{ para outros valores de } t;$$

sendo seu desvio padrão é dado por:

$$\sigma = a/\sqrt{6} \quad (\text{I.12})$$

### I.4. Incertezas

Os conceitos descritos acima levam a um conceito de aplicação mais prática, que é o conceito de incerteza.

A incerteza pode ser avaliada de duas formas diferentes como se segue:

- avaliação da incerteza do tipo A: é o método de avaliação da incerteza pela análise estatística de série de observações;
- avaliação da incerteza do tipo B: é o método de avaliação da incerteza por outros métodos que não a análise estatística de série de observações, como, por exemplo, a histerese ou a variação do valor medido devido à temperatura.

São os seguintes os tipos de incerteza:

- **incerteza padrão:** é a incerteza do resultado de uma medição como um desvio padrão;
- **incerteza padrão combinada:** é o resultado de uma medição, quando este resultado é obtido por meio de valores de várias outras grandezas,

sendo igual à raiz quadrada positiva de uma soma de termos, que constituem as variâncias ou covariâncias destas outras grandezas, ponderadas de acordo com quanto o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas;

- **incerteza expandida:** é a grandeza que define um intervalo em torno do resultado de uma medição com o qual se espera abranger uma grande fração da distribuição dos valores que possam ser razoavelmente atribuídos ao mensurando. Esta incerteza é obtida através da multiplicação da incerteza padrão combinada por um fator numérico conhecido como fator de abrangência.

#### I.4.1. Incerteza padrão combinada

Suponha que um determinado resultado  $R$  é função de uma série de variáveis independentes  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  e deseja-se saber a sua incerteza padrão. Esta incerteza será a combinação das incertezas de cada uma das parcelas, sendo dada pela seguinte expressão:

$$u_R = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2 + \dots + (u_n)^2} \quad (\text{I.13})$$

Quando as variáveis são dependentes entre si, surge um fator denominado de fator de sensibilidade, que pode ser descrito como a derivada da função em relação a cada uma das parcelas componentes. Com isso a expressão para a incerteza padrão torna-se:

$$u_R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \cdot u_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \cdot u_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \cdot u_n\right)^2} \quad (\text{I.14})$$

na qual  $\frac{\partial R}{\partial x_i}$  é o coeficiente de sensibilidade entre a função  $R$  e a variável  $x_i$ .

Uma forma alternativa para a determinação da incerteza foi proposta por Longtin (2002). A forma tradicional pode ser extremamente trabalhosa de acordo com a complexidade do fenômeno estudado, devido ao fato das relações entre as variáveis de entrada e de saída serem extremamente complicadas, o que origina equações muito complexas.

Em alguns casos torna-se mais fácil desmembrar cada variável componente da função em variáveis cada vez menores, até se chegar àquelas mais fáceis de serem manipuladas. É como se criasse uma árvore onde cada galho representa uma das variáveis do sistema e estes galhos fossem subdivididos em galhos menores. A variável da qual se deseja estimar a incerteza aparece no topo da árvore e as subvariáveis aparecem nos subníveis inferiores.

#### **1.4.2. Incerteza expandida**

Segundo o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (1998), embora a incerteza padrão possa ser universalmente usada para expressar a incerteza de um resultado de medição é muitas vezes necessário dar uma medida de incerteza que defina um intervalo em torno do resultado da medição com o qual se espera abranger uma extensa fração da distribuição de valores que poderiam ser razoavelmente atribuídos ao mensurando.

Esta medida adicional de incerteza é denominada de incerteza expandida, a qual é obtida multiplicando-se a incerteza padrão combinada pelo fator de abrangência. Para se determinar o valor adotado para o fator de abrangência deve-se, primeiramente, estipular qual o tipo de distribuição de probabilidade que será empregada para a análise dos dados coletados para, em seguida, estipular qual será o intervalo de confiança ou nível de confiança desejado.

Entende-se como nível de confiança para uma dada distribuição de probabilidade como a faixa compreendida ao redor do valor médio onde um certo valor tem a probabilidade de estar. O nível de confiança é dado pela seguinte expressão:

$$\mu = k_p \cdot \sigma \quad (I.15)$$

na qual  $k_p$  é o fator de abrangência.

Quanto maior o valor de  $k_p$  maior será o nível de confiança e maior a probabilidade de um certo valor lido estar compreendido dentro da faixa. A Tabela I.1 mostra os níveis de confiança e fatores de abrangência para uma distribuição Gaussiana e a Tabela I.2 mostra os níveis de confiança e fatores de abrangência para uma distribuição retangular.

Na falta de uma distribuição de probabilidade, pode-se supor a distribuição Gaussiana como válida com uma boa dose de certeza.

Tabela I.1: Níveis de confiança e fatores de abrangência para a distribuição Gaussiana.

Nível de Confiança p (por cento)	Fator de Abrangência $k_p$
68,27	1
90	1,645
95	1,960
95,45	2
99	2,576
99,73	3

Tabela I.2: Níveis de confiança e fatores de abrangência para a distribuição retangular.

Nível de Confiança p (por cento)	Fator de Abrangência $K_p$
57,74	1,95
99	1,71
100	$\geq \sqrt{3} = 1,73$

De acordo com o descrito acima o resultado de uma medição será, então, convenientemente expresso da seguinte forma:

$$Y = y \pm U \quad (\text{I.16})$$

nesta expressão:

- $y$  é o valor medido;
- $U$  é a incerteza expandida.

## I.5. Correlação linear

Trata-se de um conceito estatístico utilizado para se medir o grau de similaridade entre as duas variáveis de uma amostra. No caso da análise da regressão específica como as variáveis se relacionam linearmente, mostrando o grau como a correlação linear se verifica, determinando, através de um índice, o quanto linear é a variação conjunta do experimento, não fornecendo nenhuma informação quanto à natureza de qualquer tipo de desvio encontrado.

Os dados podem estar correlacionados entre si de várias formas. A Tabela I.3 mostra alguns tipos de correlação linear.

Tabela I.3: Correlações lineares.

Função	Abcissa	Ordenada
$y = a_0 + a_1 \cdot x$	x	y
$y = a_0 + a_1 \cdot x + \dots + a_n \cdot x_n$	x	y
$y = k \cdot x^a$	log x	log y
$y = k \cdot e^{a \cdot x}$	x	log y

Quando o coeficiente de correlação  $r$  possui valor  $-1$  ou  $+1$ , isto indica que a correlação é total (linearidade completa). Caso o valor seja zero não há relação de linearidade e quando o valor fica situado no intervalo aberto de  $+1$  até  $-1$ , indica que o sistema se aproxima da linearidade.

Segundo Ambrosius (1966), a expressão geral para o coeficiente de correlação é dada por:

$$r = \frac{\sum x \cdot y - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{\left[ \sum x^2 - n(\bar{x})^2 \right] \left[ \sum y^2 - n(\bar{y})^2 \right]}} \quad (\text{I.17})$$

ou

$$r = \frac{n \cdot \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{\left[ n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2 \right] \left[ n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2 \right]}} \quad (\text{I.18})$$

nestas expressões:

- $x$  e  $y$  são os valores de entrada e saída, respectivamente;
- $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  são as médias dos valores de entrada e saída, respectivamente;
- $n$  é o número de medições.

### 1.5.1. Método dos mínimos quadrados

É um dos métodos de ajuste de curva mais empregados, o qual pode gerar praticamente todos os tipos de correlação linear. Segundo Ambrosius *et al.* (1966) e Dally *et al.* (1993), os coeficientes da curva de um dado ajuste são dados através das seguintes expressões:

$$\begin{aligned}\sum y &= N \cdot a_0 + (\sum x) a_1 + \dots + (\sum x^n) a_n \\ \sum xy &= (\sum x) a_0 + (\sum x^2) a_1 + \dots + (\sum x^{n+1}) a_n \\ \sum x^n y &= (\sum x^n) a_0 + (\sum x^{n+1}) a_1 + \dots + (\sum x^{2n}) a_n\end{aligned}$$

na qual  $a_0, \dots, a_n$  são os coeficientes da curva e  $N$  o número de pontos medidos.

Com isso pode-se gerar qualquer tipo de correlação dentre as mostradas na Tabela I.3. Porém para um mesmo número de pontos colhidos pode-se ter uma ou mais curvas que se ajustam a eles, então é necessário que se determine qual destes ajustes é o mais adequado. Para isso deve-se seguir a seguinte ordem:

- escolher primeiramente o que apresenta o menor desvio médio quadrático, desde que a diferença seja representativa a nível de incerteza de medição;
- o que possuir maior coeficiente de correlação;
- o mais simples.

A escolha do que possui menor desvio médio quadrático é que este parâmetro representa a incerteza do ajuste, logo quanto menor for o seu valor, menor será a incerteza. O desvio médio quadrático é dado pela seguinte expressão:

$$s^2 = \frac{1}{n-g} \sum (y_i - f(x_i))^2 \quad (\text{I.19})$$

na qual **n** é o número de pontos coletados e **g** é o número de constantes a serem determinadas.

Este método é, sem dúvida, o mais empregado pois é o que apresenta melhores resultados e maior correlação linear.

## **Apêndice II**

### **Sistemas de Aquisição e Processamento de Sinais**

Da mesma forma que no Apêndice I, todos os conceitos aqui descritos foram empregados no trabalho em uma maior ou menor proporção.

Segundo Bendat *et al.* (1986), os procedimentos de aquisição e processamento de sinais são extremamente dependentes do fenômeno físico, portanto deve-se empregar o sistema adequado a cada tipo de fenômeno.

Os sistemas de aquisição e processamento sinais possuem a mesma constituição dos instrumentos conforme mostrado anteriormente.

#### **II.1.**

##### **Sistemas de aquisição analógicos e analógico-digitais**

Os sistemas de aquisição podem ser apenas analógicos (sistemas analógicos) ou possuírem também componentes digitais (sistemas analógico-digitais).

##### **II.1.1.**

###### **Sistemas analógicos**

Nestes sistemas o processador recebe o sinal analógico do transdutor (ou do condicionador) e, novamente, transforma este sinal em uma quantidade que possa ser lida mais facilmente e que continue sendo relacionada com a excitação.

Um exemplo simples de um processador analógico (que também é um instrumento analógico) é o termômetro de bulbo de mercúrio. Este equipamento estabelece uma relação entre temperatura e a dilatação linear do mercúrio para que possa fazer a medição.

## II.1.2. Sistemas digitais

Conforme descrito anteriormente um sinal analógico é, geralmente, associado a um valor contínuo e representado por um número real. Um sinal digital, ao contrário, é um valor discreto, que é normalmente representado por um número inteiro.

Os processadores digitais empregam um conversor analógico-digital ou simplesmente conversor A/D, que recebe o sinal analógico e faz a sua digitalização. Este procedimento de digitalização é conhecido como conversão analógico-digital ou conversão A/D.

Na conversão A/D há a discretização da faixa de valores contínuos originais, associando a cada valor do sinal analógico um valor correspondente do sinal digital. Quanto maior o número de níveis discretos que o sinal digital pode assumir, maior será a exatidão da representação. Esta exatidão normalmente é definida em função da base numérica binária, ou seja, em termos de apenas dois dígitos que são 0 e 1, estes dígitos receberam o nome de *bit* (abreviado do inglês *binary digit*). Desta forma, cada valor discreto é definido por um número binário que representa um valor inteiro. Já o número de dígitos binários define o máximo valor inteiro que pode ser representado. A Figura II.1 mostra como é realizado o procedimento de discretização de um sinal contínuo.

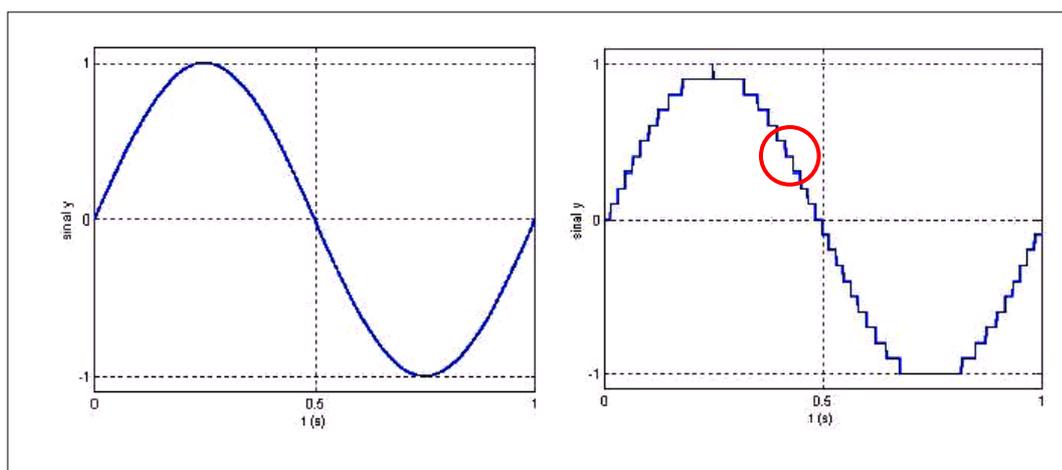


Figura II.1: Exemplo de um sinal digitalizado.  
Fonte: Barbosa (2003).

Para sinais monofásicos (não ocorre inversão da polaridade) a resolução binária é dada pela expressão  $R = M/(2^b - 1)$ , na qual  $M$  é o valor do sinal e  $b$  é o número de dígitos binários. Já para sinais bifásicos (ocorre inversão de polaridade) é necessário um maior número de dígitos para se conseguir a mesma resolução, assim a expressão toma a seguinte forma  $R = 2.M / 2^b$ .

Conforme o exposto acima, conclui-se que a resolução digital é função da quantidade de dígitos binários empregados na conversão, sendo maior quanto maior for este número. Atualmente a grande maioria das placas de aquisição de sinais possui uma resolução digital de 12 ou 16 *bits*, sendo que a escolha da resolução é dependente do tipo de sinal que será lido e em qual velocidade isso deverá ser realizado.

Para que se faça uma correta discretização do sinal é necessário que se realize a sua amostragem em intervalos de tempo adequados, ou seja, que se utilize uma frequência de aquisição que possa reproduzi-lo com a máxima fidelidade possível. O emprego de uma frequência muito baixa pode levar a um sinal adquirido totalmente diferente do sinal real. Quando ocorre o fato da frequência de aquisição não produzir um sinal similar do sinal real chama-se isso de *aliasing*, o qual é extremamente indesejável.

Para se determinar qual será a frequência de aquisição emprega-se o Teorema da Amostragem de Nyquist que diz que um sinal analógico deve ser adquirido com uma frequência mínima maior que o dobro da frequência máxima do sinal de interesse. O Teorema de Nyquist pode ser definido pela expressão  $f_s = 2.f_c = 2 / \Delta t$ .

A Figura II.2 ilustra o fenômeno de *aliasing*. Percebe-se que quando é escolhida uma frequência de aquisição correta são realizadas amostragens ao longo do sinal contínuo (1) havendo uma reprodução deste sinal com um mínimo de erro. Já quando a frequência de aquisição é menor que a estipulada pelo Teorema de Nyquist o sinal lido (vermelho) é completamente diferente do sinal real (azul) o que origina erros de medição, que só são sanados com o emprego de uma frequência de aquisição correta.

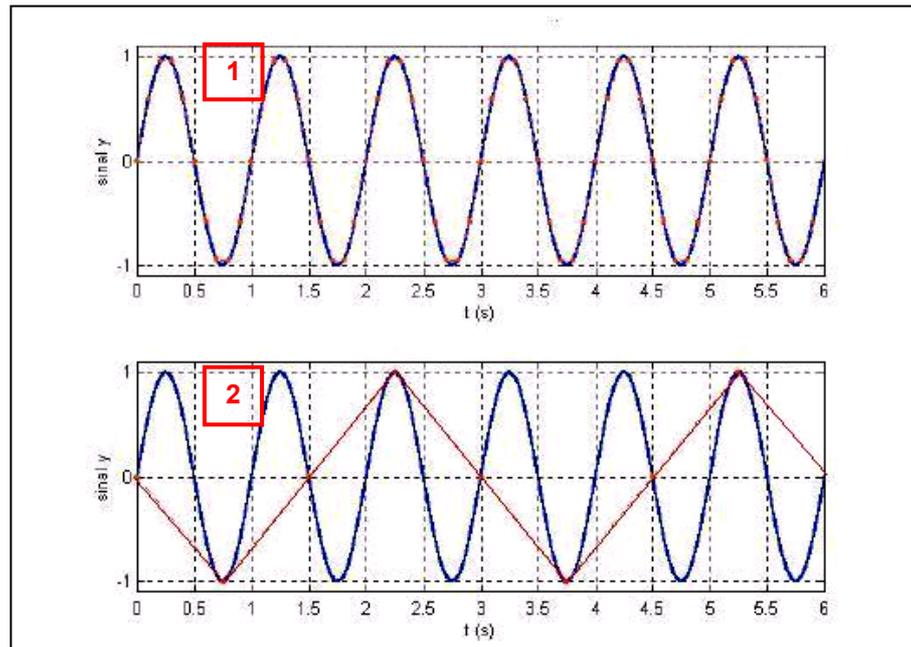


Figura II.2: Fenômeno de *aliasing*.  
Fonte: Barbosa (2003).

### II.1.3. Incerteza associada à conversão A/D

Segundo Potzick (1999), quando uma grandeza contínua é medida com um instrumento digital ou digitalizada, é incluído um componente da incerteza de medição da variável contínua. Esta incerteza pode ser reduzida através de uma sobre-amostragem ou múltiplas medições, principalmente se houver algum ruído na medição.

Os conversores A/D convertem quantidades contínuas em números digitais com uma resolução de um dígito significativo (em inglês *least significant bit* – LSB). A maioria dos conversores A/D produz uma variável discreta  $y$  igual a uma variável contínua de entrada  $x$  com uma incerteza de  $\pm 1$  LSB. A função de transferência  $y$  e a quantização do erro podem ser dadas pelas seguintes expressões:

$$y = \text{round}(x) \quad (\text{II.1})$$

e

$$\varepsilon = x - y \quad (\text{II.2})$$

Estas expressões são válidas nas seguintes condições:

- $y = 0$  para qualquer  $-1/2 \leq x \leq +1/2$ ;
- $y = 1$  para qualquer  $1/2 \leq x \leq 1 1/2$ , e assim por diante.

A Figura II.3 mostra a função de transferência de um conversor A/D.

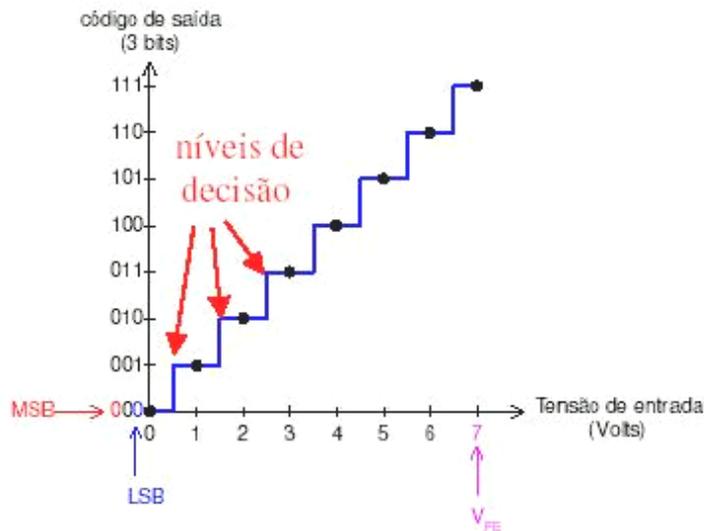


Figura II.3: Função de transferência do conversor A/D.  
 Fonte: Barbosa (2003).

O cálculo da incerteza padrão em uma medição já foi tratado anteriormente. Para a Figura II.3 adotando-se uma distribuição de probabilidade retangular, variando de  $-1/2 \leq \epsilon \leq +1/2$ , a incerteza será dada por:

$$u = 2 \cdot \sqrt{\int_{-1/2}^{1/2} p(\epsilon) \cdot \epsilon^2 \cdot d\epsilon} \tag{II.3}$$

como  $p(\epsilon) = 1$  dentro da faixa estipulada e 0 nos demais casos a equação torna-se:

$$u = 2 \cdot \sqrt{\int_{-1/2}^{1/2} \epsilon^2 \cdot d\epsilon} \tag{II.4}$$

o que dá um valor de incerteza de 0,577 LSB.

#### II.1.4. Influência do ruído na incerteza do conversor A/D

Da mesma forma que o sinal original o ruído também é digitalizado. Ele pode ser representado como uma variável aleatória de amplitude unitária variando na faixa  $-1/2 \leq \text{LSB} \leq +1/2$  multiplicada por uma amplitude  $A$ .

De acordo com o descrito acima, pode-se dizer que a amplitude do ruído é:

amplitude =  $A \cdot \text{LSB}$ , variando de pico a pico.

Adicionando o ruído a entrada  $x$ , a expressão para o sinal de saída toma a seguinte forma:

$$y = \text{round}(x + A) \quad (\text{II.5})$$

enquanto que o erro continua com a mesma expressão.

Se a taxa de amostragem for alta o suficiente em relação às mudanças de  $x$ , cada  $y$  lido pode ser escrito como a média de  $n$  medições:

$$y_{\text{med}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (\text{II.6})$$

com isso erro passa a ser:

$$\varepsilon_{\text{med}} = x - y_{\text{med}} \quad (\text{II.7})$$

com a incerteza passando a ser:

$$u = 2 \cdot \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{j=1}^s \varepsilon_{\text{med}}^2(x_j)} \quad (\text{II.8})$$

De acordo com o descrito acima, conclui-se que, dependendo da amplitude do ruído, é necessária uma maior taxa de amostragem para a minimização do seu efeito.

Percebe-se também que dependendo da sua amplitude ele produz uma menor incerteza de medição devido à sobre-amostragem, o que pode ser muito vantajoso. A Figura II.4 mostra os efeitos da sobre-amostragem de um sinal na presença de ruído:

- em (1): uma única medição de sinal com ruído de 4 LSB;
- em (2): média de 10 medições com ruído de 4 LSB;
- em (3): uma única medição de sinal com ruído de 1 LSB;
- em (4): média de 10 medições com ruído de 1 LSB;

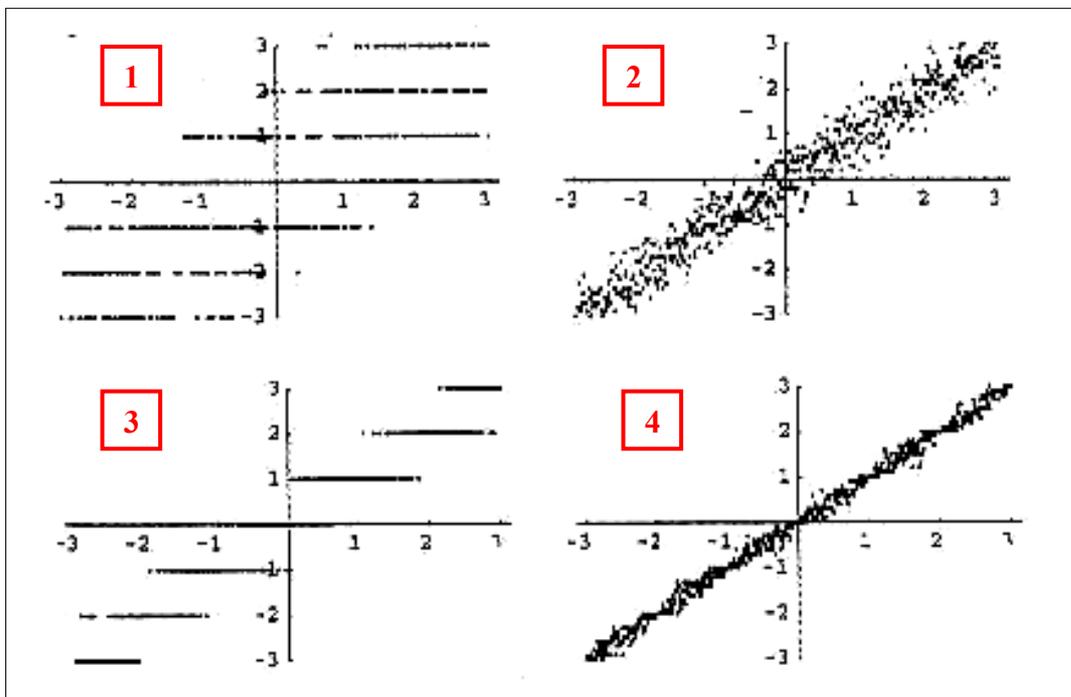


Figura II.4: Aquisição do sinal com sobre-amostragem na presença de ruído.

Conforme pode ser visto na Figura II.4, quando se realiza uma única medição de um sinal com ruído, o valor discretizado apresenta uma dispersão muito grande, porém quando se realiza uma amostragem maior do mesmo sinal esta dispersão diminui. Percebe-se também que para valores muito altos de ruído a dispersão continuará grande, porém para pequenos valores de ruído a dispersão será bem pequena, produzindo uma incerteza menor do que a incerteza do conversor A/D.

### II.1.5. **Clock**

Este dispositivo verifica a quantidade de ciclos por segundo que o processador lógico do sistema produz. Este número de ciclos está diretamente relacionado com o número de instruções que o processador pode executar.

Como se está falando em medição de ciclos por segundo, logicamente a sua unidade de medida é em Hz, mais precisamente MHz devido à grande quantidade de pulsos gerados.

### II.1.6. **Sinal TTL (*Transistor Transistor Logic*)**

O sinal TTL é uma onda quadrada com amplitude variando entre 0V e + 5V. Na realidade ele é um sinal lógico onde o valor 0V é relacionado com o estado “zero” e o valor de 5V é relacionado ao estado “um” (Figura II.5).

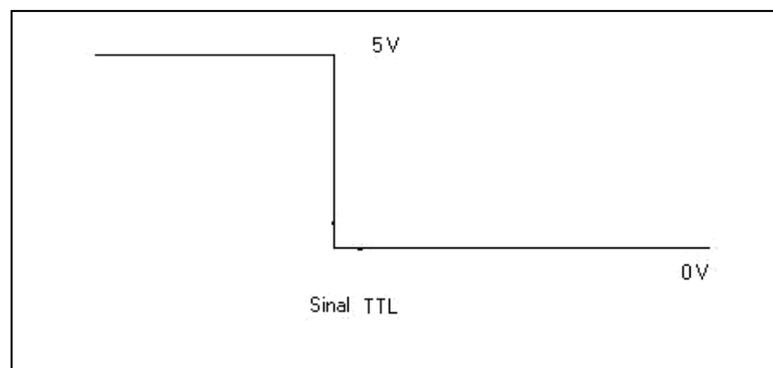


Figura II.5: Sinal TTL.

### II.1.7. **Trigger e Threshold**

Os *triggers* são empregados para monitorarem os sinais de entrada. Através deles pode-se comandar o início de uma seqüência lógica ou, até mesmo, criar um sinal lógico.

Basicamente o *trigger* funciona da seguinte forma: estipula-se um determinado patamar de tensão o qual o sinal pode ou não alcançar (este patamar

é conhecido como *threshold*). Quando o valor do sinal encontra-se abaixo deste patamar o valor lógico do *trigger* é zero e quando o sinal alcança ou ultrapassa o patamar o valor lógico passa a ser um.

Desta forma pode-se programar o sistema para que ele só inicie a aquisição de sinais após o sinal alcançar o valor desejado (ou pare quando alcançar este valor), ou se criar um sinal lógico (Figura II.6).

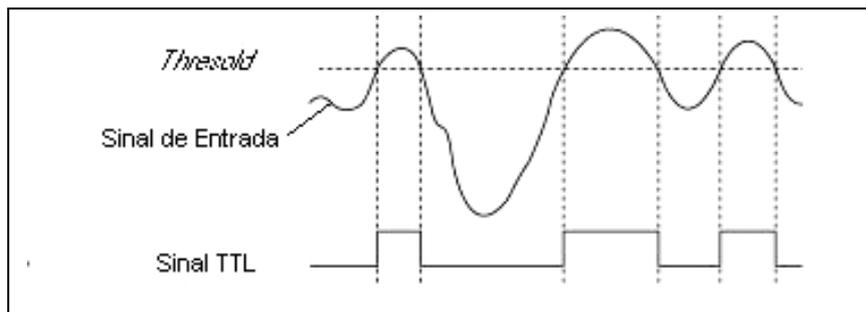


Figura II.6: *Trigger e threshold*.

### II.1.8. Contadores

Realizam a medição de sinais lógicos (TTL), podendo medir frequência, período e tempo decorrido. Em muitos casos, quando se deseja uma contagem do número de pulsos de um sinal, é conveniente transformá-lo em um sinal lógico de forma a permitir que o contador faça esta medição.



# Apêndice III

## Transparências Utilizadas na Defesa da Dissertação

PósMQI Defesa de Dissertação de Mestrado PUC

**"Avaliação da Conformidade de Veículos Terrestres: Análise Metroológica e Modernização de um Sistema de Medição de Velocidade"**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação da PUC-Rio

Marcos José Ferreira Carvalho  
Rio de Janeiro, 20 de dezembro de 2004

EXERCITO BRASILEIRO

PósMQI Comissão Examinadora PUC

**"Avaliação da Conformidade de Veículos Terrestres: Análise Metroológica e Modernização de um Sistema de Medição de Velocidade"**

Prof. Mauro Speranza Neto (PUC-Rio), Orientador  
Prof. José Geraldo Telles Ribeiro (Exército Brasileiro), Orientador  
Prof. Maurício Nogueira Frota (PUC-Rio)

EXERCITO BRASILEIRO

PósMQI Objetivos PUC

- Criar uma alternativa para a UCP do equipamento do CPrM
- Emprego de um computador portátil com uma placa de aquisição e um programa específico
- Análise metroológica dos resultados obtidos em cada um dos sistemas de aquisição de dados

EXERCITO BRASILEIRO

PósMQI Relevância PUC

- O CPrM é o laboratório de ensaios encarregado da Avaliação Técnica de Produtos Controlados e Materiais de Emprego Militar
- Como qualquer laboratório o CPrM deve garantir a confiabilidade dos resultados obtidos em seus ensaios

EXERCITO BRASILEIRO

PósMQI ...Relevância PUC

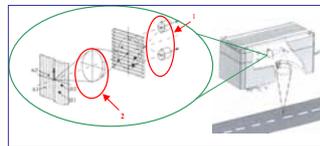
A proposta desta dissertação encaixa-se dentro deste contexto da seguinte forma:

- A substituição da UCP apresentará um preço bem menor do que a compra de um equipamento novo
- Garantia da qualidade de todo o processo de análise experimental

EXERCITO BRASILEIRO

PósMQI Transdutores Ópticos para Ensaios Veiculares PUC

- São os transdutores mais empregados atualmente
- Trabalham projetando uma luz de alta intensidade sobre uma superfície reflexiva aleatória



EXERCITO BRASILEIRO

**...Transdutores Ópticos para Ensaios Veiculares**

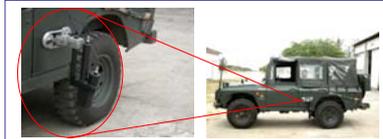
- Os feixes de luz refletidos passam através de uma lente que os projeta sobre um retículo transparente
- Atrás do retículo existem dois sensores fotoelétricos que geram pulsos elétricos proporcionais aos comprimentos de onda captados
- A frequência do sinal de saída do transdutor é proporcional à velocidade e o número de pulsos gerados é proporcional à distância percorrida
- "CORREVIT" => combinação das palavras "correlation" (correlação em inglês) e "vitesse" (velocidade em francês)



**Equipamentos Empregados pelo CPrM**

- O Campo de Provas da Marambaia (CPrM) possui os sistemas CORREVIT® EEP-2 e CORREVIT® EEP-4
- Constituídos de uma UCP para a ligação dos transdutores

**Transdutor - L**



**...Equipamentos Empregados pelo CPrM**

**CORREVIT®-EEP2**



**...Equipamentos Empregados pelo CPrM**

**CORREVIT® -EEP4**



**Modernização do Equipamento**

**Equipamentos Atuais**



**...Modernização do Equipamento**

Determinação das Correlações Velocidade/Frequência do Sinal do Transdutor e Número de Pulsos/Distância Percorrida

- Passo inicial para o entendimento da lógica de processamento do CORREVIT®




**...Modernização do Equipamento**

Determinação das Correlações Velocidade/Freqüência do Sinal do Transdutor e Número de Pulsos/distância Percorrida

**EXERCÍCIO BRASILEIRO**

**...Modernização do Equipamento**

Determinação da Correlação entre Velocidade e Freqüência do Sinal do Transdutor, e Número de Pulsos e Distância Percorrida

Equipamento	Faixa de Medição	Resolução	Incerteza
Osciloscópio	0 - 100 MHz	0,01 Hz	Vertical ± 2% Horizontal ± 0,01%
Medidor de freqüência	10 - 100 MHz	0,01 Hz	± 0,01 kHz
Mostrador de velocidade	0 - 400 km/h	0,1 km/h	± 0,1 km/h

Parâmetro	Incerteza	
	Padrão	Expandida
Ajuste	± 0,13 km/h	± 0,26 km/h
Valor medido	± 0,15 km/h	± 0,30 km/h
Coefficiente	± 0,05	± 0,10

**EXERCÍCIO BRASILEIRO**

**...Modernização do Equipamento**

Fator de Calibração

**EXERCÍCIO BRASILEIRO**

**...Modernização do Equipamento**

Equipamentos para a Modernização

- Computador Compaq Presario Pentium® III com 1,13 GHz
- NI DAQCard-6036E (PCMCIA) da National Instruments™
- Condicionador de sinais BNC-2120 da National Instruments™
- Programa de aquisição de dados LabView™ 7 da National Instruments™

**EXERCÍCIO BRASILEIRO**

**...Modernização do Equipamento**

Implementação dos Programas

O novo sistema de processamento de dados deveria possuir as seguintes características:

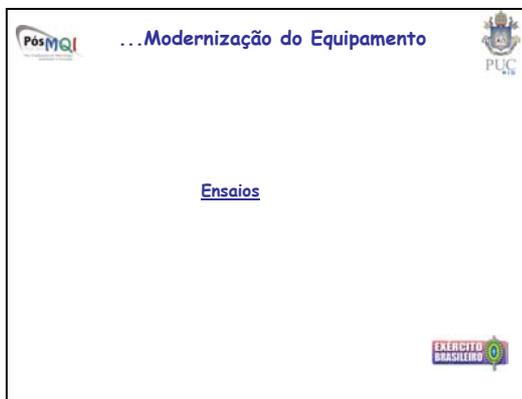
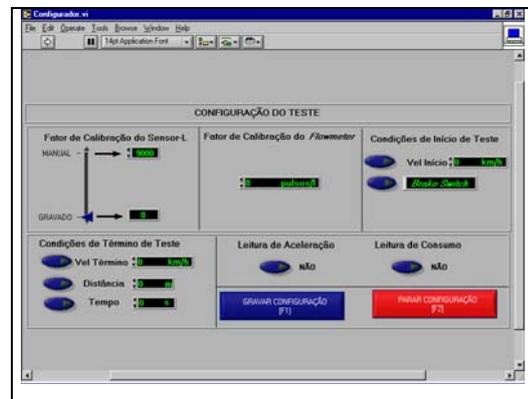
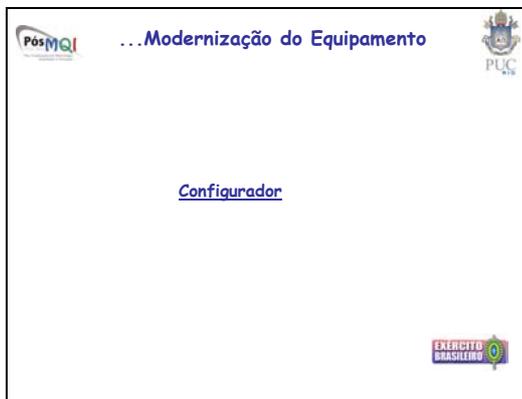
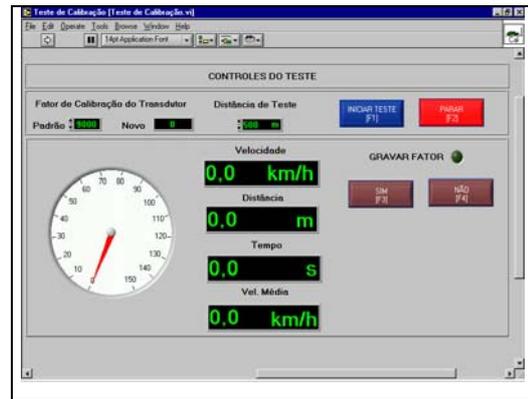
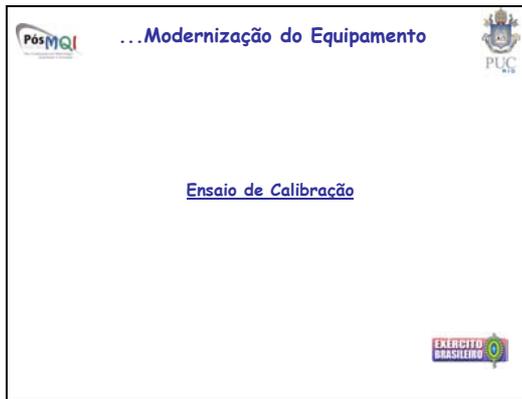
- realizar a leitura da velocidade de deslocamento, da distância percorrida e do tempo decorrido
- início e término de ensaio manualmente ou em uma dada condição
- correção do Fator de Calibração para cada piso
- gravação dos resultados obtidos durante o ensaio

**EXERCÍCIO BRASILEIRO**

**...Modernização do Equipamento**

- De acordo com o solicitado pelo usuários do equipamento, foram criados três programas para realizar a aquisição de dados

**EXERCÍCIO BRASILEIRO**



...Modernização do Equipamento

EXERCÍCIO BRASILEIRO

...Modernização do Equipamento

**Validação dos Programas**

- Verificação se os programas realizavam a leitura de forma coerente

CORREVIT	Velocidades Obtidas (km/h)					Média
	Programa					
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	
10,0	10,8	9,7	10,4	10,1	10,2	10,24
20,0	20,3	20,5	21,1	20,0	20,7	20,52
30,0	30,9	30,3	30,4	30,2	29,3	30,22
40,0	40,4	40,3	40,4	41,0	40,2	40,46
50,0	50,8	50,2	50,5	50,8	50,4	50,54
60,0	60,4	60,5	60,2	59,2	60,9	60,24
70,0	69,8	71,0	70,9	69,2	69,4	70,06
80,0	80,1	80,9	80,2	80,8	80,0	80,4
90,0	90,2	90,2	89,6	90,2	90,8	90,2
100,0	100,4	100,7	100,7	100,2	100,0	100,4

EXERCÍCIO BRASILEIRO

...Modernização do Equipamento

Parâmetro	Incerteza		
	Padrão	Expandida	
Ajuste ( $V_{ajustado} = 1,0045 \cdot V_{CORREVIT}$ )	$\pm 0,23$ km/h	$\pm 0,46$ km/h	
Coefficiente linear	$\pm 0,03$	$\pm 0,06$	
Valor medido pelo CORREVIT®	$\pm 0,15$ km/h	$\pm 0,30$ km/h	
Valor medido pelo programa	$\pm 0,30$ km/h	$\pm 0,60$ km/h	
Média	10,24	$\pm 0,23$ km/h	$\pm 0,46$ km/h
	20,52	$\pm 0,23$ km/h	$\pm 0,46$ km/h
	30,22	$\pm 0,32$ km/h	$\pm 0,64$ km/h
	40,46	$\pm 0,17$ km/h	$\pm 0,34$ km/h
	50,54	$\pm 0,15$ km/h	$\pm 0,30$ km/h
	60,24	$\pm 0,35$ km/h	$\pm 0,70$ km/h
	70,06	$\pm 0,47$ km/h	$\pm 0,94$ km/h
	80,4	$\pm 0,23$ km/h	$\pm 0,46$ km/h
	90,2	$\pm 0,24$ km/h	$\pm 0,48$ km/h
	100,4	$\pm 0,17$ km/h	$\pm 0,34$ km/h

EXERCÍCIO BRASILEIRO

...Modernização do Equipamento

**Calibração dos Equipamentos**

- Necessária para se conhecer a exatidão de medição dos sistemas de aquisição de dados

- Realizada em duas etapas:

- velocidade  $\Rightarrow$  empregando-se o dinamômetro de rolos do LEV da PUC-Rio
- distância percorrida  $\Rightarrow$  pista para o ensaio de Calibração no CPrM

EXERCÍCIO BRASILEIRO

...Modernização do Equipamento

**Calibração da Leitura de Velocidade**

EXERCÍCIO BRASILEIRO

...Modernização do Equipamento

**Valores Medidos pelo Programa**

Dinamômetro	Velocidades (km/h)				Média	Ajustada
	Programa					
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4		
20,0	20,2	21,0	21,0	20,0	20,6	20,0
40,0	40,3	40,5	40,2	39,8	40,2	40,1
60,0	60,8	60,2	59,8	60,0	60,2	60,1
80,0	80,6	79,9	81,0	80,0	80,4	80,2
100,0	101,0	99,8	100,5	99,3	99,9	100,2
120,0	120,3	120,3	120,0	120,0	120,2	120,2

O dinamômetro possuía uma incerteza expandida de  $\pm 1$  km/h o que corresponde a uma incerteza padrão de  $\pm 0,5$  km/h, ao longo de toda a faixa de trabalho

EXERCÍCIO BRASILEIRO

...Modernização do Equipamento

**Incertezas dos Valores Medidos pelo Programa**

Parâmetro	Incerteza	
	Padrão	Expandida
Ajuste ( $V_{ajustado}=1,0019 \cdot V_{dinamometro}$ )	$\pm 0,29$ km/h	$\pm 0,58$ km/h
Coefficiente linear	$\pm 0,03$	$\pm 0,06$
Valor medido pelo programa	$\pm 0,4$ km/h	$\pm 0,8$ km/h
Média	20,6	$\pm 0,35$ km/h
	40,2	$\pm 0,19$ km/h
	60,2	$\pm 0,29$ km/h
	80,4	$\pm 0,35$ km/h
	99,9	$\pm 0,50$ km/h
	120,2	$\pm 0,12$ km/h

...Modernização do Equipamento

**Valores Medidos pelo CORREVIT®**

Dinamômetro	Velocidades (km/h)				Média	Ajustada
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4		
20,0	20,3	20,0	20,0	19,9	20,1	20,0
40,0	41,2	40,3	40,3	40,0	40,5	40,0
60,0	60,3	60,1	59,7	60,3	60,1	60,0
80,0	80,2	80,3	80,3	80,2	80,3	80,0
100,0	100,1	99,8	100,2	99,2	99,8	100,0
120,0	119,5	119,5	119,8	119,8	119,7	120,0

...Modernização do Equipamento

**Incertezas dos Valores Medidos pelo CORREVIT®**

Parâmetro	Incerteza	
	Padrão	Expandida
Ajuste ( $V_{ajustado}=0,9996 \cdot V_{dinamometro}$ )	$\pm 0,3$ km/h	$\pm 0,6$ km/h
Coefficiente linear	$\pm 0,03$	$\pm 0,06$
Valor medido pelo CORREVIT®	$\pm 0,3$ km/h	$\pm 0,6$ km/h
Média	20,1	$\pm 0,12$ km/h
	40,5	$\pm 0,35$ km/h
	60,1	$\pm 0,19$ km/h
	80,3	$\pm 0,10$ km/h
	99,8	$\pm 0,30$ km/h
	119,7	$\pm 0,12$ km/h

...Modernização do Equipamento

**Calibração da Leitura de Distância Percorrida**

- Utilização da pista para o ensaio de Calibração com um comprimento de 800 m
- Para a distância a ser percorrida, adotou-se uma incerteza expandida de  $\pm 1$  m o que corresponde a uma incerteza padrão de  $\pm 0,5$  m

...Modernização do Equipamento

**Valores Medidos pelo Programa e suas Incertezas**

Valores de distância percorrida em metros medida pelo programa						
Medições						Média
801	803	802	801	802	800	802
Incerteza padrão da média						$\pm 0,5$ m
Incerteza expandida da média						$\pm 1,0$ m
Valores dos fatores de calibração obtidos pelo programa						
Medições						Média
9011	9034	9023	9011	9023	9000	9017
Incerteza padrão do coeficiente						$\pm 50$
Incerteza expandida do coeficiente						$\pm 100$

...Modernização do Equipamento

**Valores Medidos pelo CORREVIT® e suas Incertezas**

Valores de distância percorrida em metros medida pelo CORREVIT®						
Medições						Média
805	802	800	800	798	800	801
Incerteza padrão da média						$\pm 0,5$ m
Incerteza expandida da média						$\pm 1,0$ m
Valores dos fatores de calibração obtidos pelo CORREVIT®						
Medições						Média
9056	9023	9000	9000	8978	9000	9009
Incerteza padrão do coeficiente						$\pm 50$
Incerteza expandida do coeficiente						$\pm 100$

**...Modernização do Equipamento**

**Declaração dos Valores Medidos pelo Programa**

Velocidade = (Valor medido ± 0,80) km/h  
 Distância = (Valor medido ± 1,00) m  
 Fator de Calibração = (Fator de Calibração medido ± 100)

**Declaração dos Valores Medidos pelo CORREVIT®**

Velocidade = (Valor medido ± 0,60) km/h  
 Distância = (Valor medido ± 1,00) m  
 Fator de Calibração = (Fator de Calibração medido ± 100)

**...Modernização do Equipamento**

**Preço Total para a Aquisição de um equipamento Novo**

R\$ 70.000,00

**Preço Total para a Aquisição dos Componentes para a Modernização**

R\$ 13.000,00

**Avaliação da Performance do Veículo Através de Simulação**

- Possibilidade de se prever os resultados de um determinado ensaio
- Possibilidade, também, de se prever erros de medição decorrentes de ruídos do sistema
- Realizou-se a simulação para os ensaios de aceleração e desaceleração

**...Avaliação da Performance do Veículo Através de Simulação**

**Ensaio de Aceleração**

**Conclusão**

- Embora complexo, foi possível unir áreas que parecem independentes para a realização deste trabalho
- Abertura de espaço para outros trabalhos nesta área ou, até mesmo, uma continuação da presente dissertação

**Sugestões**

- Modernização dos atuais programas de aquisição de dados implementando leitura de consumo, temperatura e rotação do motor
- Leitura de aceleração através de transdutores específicos

