

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

7686
3
Sribo

TRABALHO DE FORMATURA

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

TF-1994
G172a

AUTOR : MÁRIO GOTO

ORIENTADOR : ALBERTO W RAMOS

1994

A meus pais e irmãos,
pela compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao pessoal da qualidade, pelo apoio e força. Ao Uamaury e ao Décio (instrumentação), pela ajuda nas dúvidas.

Ao professor Alberto Ramos, sem cuja orientação, ajuda e prestatividade, não seria possível a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

O trabalho trata de métodos estatísticos para a avaliação de sistemas de medição, criação de procedimentos e sua aplicação prática.

Trata, também, da parte de gerenciamento dos sistemas de medição.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 A empresa	2
1.2 O estágio	4
CAPÍTULO 2 - CONCEITOS GERAIS SOBRE METROLOGIA	6
2.1 Confiabilidade metrológica	7
2.2 A variação do sistema de medição	9
2.3 Tipos de variação do sistema de medição	11
2.3.1 Exatidão	11
2.3.2 Repetitividade	12
2.3.3 Reprodutividade	12
2.3.4 Estabilidade	13
2.3.5 Linearidade	13
CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO	15
3.1 Introdução	16
3.2 Diretrizes gerais	17
3.3 Métodos para avaliação do sistema de medição	19
3.3.1 Método curto	24
3.3.2 Método longo	28
3.3.3 Método da análise de variância	35
3.4 Exatidão	45
3.5 Estabilidade	47
3.6 Linearidade	49

CAPÍTULO 4 - COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE MEDIÇÃO	51
CAPÍTULO 5 - ADMINISTRAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO	61
5.1 Rastreabilidade	62
5.2 Identificação dos instrumentos de medição	63
5.3 Validação	65
5.4 Intervalo entre validações	67
CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DOS ESTUDOS	71
6.1 Repetitividade & reprodutividade	72
6.2 Exatidão	82
6.3 Linearidade	84
6.4 Estabilidade	86
6.5 comparação entre sistemas de medição	88
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO	90
ANEXOS	92
Anexo I - tabelas estatísticas	93
Anexo II - Utilização das folhas de coleta de dados e cálculo	97
BIBLIOGRAFIA	107

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. A EMPRESA

A Philips é uma empresa fundada em Eindhoven (Holanda), em 1881, com o propósito de produzir lâmpadas incandescentes.

Com o aumento da demanda , passou a exportar as lâmpadas, diversificou seus produtos e abriu organizações em outros países.

Hoje, a Philips mundial controla cerca de 50000 patentes, no campo eletroeletrônico.

A Philips possui várias divisões de produtos, como:

- iluminação
- áudio
- vídeo
- aparelhos domésticos
- componentes eletrônicos entre outros

No Brasil, há várias divisões, gerando cerca de 12000 empregos diretos, sendo de interesse o grupo de iluminação industrial, em particular a unidade de Capuava (S.P.).

Aí são produzidas basicamente lâmpadas incandescentes (G.L.S.), fluorescentes (T.L.) e de descarga de alta ignição (H.I.D.).

A unidade está em processo de implantação de um programa de qualidade total, baseado nas normas da série ISO 9000 (no caso 9002).

Há exigência do mercado externo quanto a certificação nos termos da norma ISO 9000 e no mercado interno, já começam a surgir licitações, nas quais, a certificação é necessária.

A tendência é que com a certificação, aumente o volume de lâmpadas HID produzidas para a exportação. Hoje, por exemplo, a unidade Walita é fabricante exclusiva do grupo, a nível mundial, de certos aparelhos domésticos.

Como maiores concorrentes no seguimento de iluminação podem citar-se:

- Osram
- Sylvania
- General Eletrics

1.2. O ESTÁGIO

O estágio está sendo realizado no departamento de qualidade. Dentro deste, foi escolhida a área de metrologia para desenvolvimento de um trabalho, para avaliar o sistema de medição. Este, é um dos requisitos para um programa de qualidade total (pela qual a unidade está passando) e é um item que, costuma não ser bem tratado. Desta forma, é possível suprir uma necessidade da empresa, quanto a um item necessário para certificação na norma ISO 9000, e ao mesmo tempo, desenvolver um tema para ser o Trabalho de Formatura.

A metrologia tem grande importância em uma empresa, visto que, sem medir bem, não é possível fazer comparações com dados de projetos ou valores de especificações. Sem confiabilidade metrológica, controles de processo perdem a validade e os produtos ficam com qualidade duvidosa. A avaliação do sistema de medição é um requisito para qualquer implantação de controle estatístico de processo (CEP).

Não basta somente que o instrumento de medição esteja de acordo (aferido/calibrado). É necessário que o sistema da qual ele faz parte, esteja apto para executar dada tarefa. Isto é possível avaliar, através de aplicação de métodos estatísticos e análise de seus resultados.

A medição deve ser vista como produto de um processo que envolve o operador, equipamentos, procedimentos e materiais de referência. (fig. 1)

O presente trabalho tem como objetivo, criar procedimentos para avaliação do sistema de medição, e gerar um suporte para a realização dos mesmos, indicando o método de uso mais adequado, através de uma comparação. Também será tratado, o gerenciamento dos sistemas de medição.

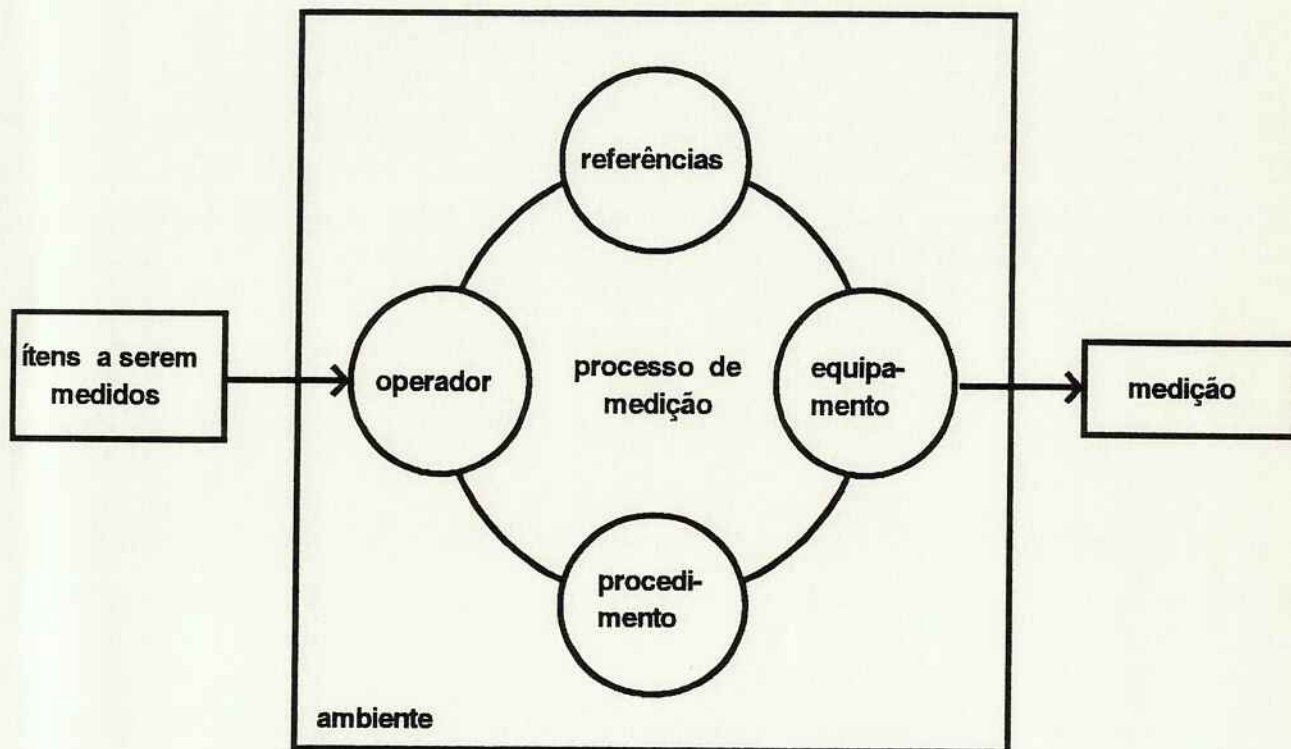


fig. 1 - A medição como conceito de processo produtivo

(transcrito da ref. 10)

CAPÍTULO 2

CONCEITOS GERAIS SOBRE METROLOGIA

2.1. CONFIABILIDADE METROLÓGICA

Entende-se por metrologia, à ciência que trata da medição, dos conceitos básicos, dos métodos, dos erros e sua propagação, e dos padrões envolvidos na quantificação de grandezas físicas. Pode-se considerar a metrologia de duas formas: a passiva e a ativa.

Ocorre a passiva quando não existe preocupação com os dados obtidos (sua aplicação, coerência ou harmonização).

A ativa ocorre quando estes dados são levados em consideração e decisões são tomadas para solucionar problemas que possam surgir.

Todo resultado de uma medição possui erros e desvios. Essas diferenças podem ser causadas por várias causas, tais como:

- a)imperfeição do objeto a ser medido
- b)métodos e procedimentos inadequados
- c)condições do operador (acuidade visual, atenção, treinamento, etc.)
- d)condições do ambiente
- e)variações causadas em função do tempo.

É interessante fazer um controle das variações dos resultados de medições para:

- a)verificar sua qualidade, estabelecendo médias e desvios;

- b) verificar a estabilidade no decorrer do tempo, reproduzindo resultados já obtidos;
- c) estabelecer previsibilidade, ou seja, limites de confiança para medições futuras;
- d) obter coerência, harmonizando os resultados com outra estação medidora, permitindo comparações , acompanhamento e detecção de erros;

Um programa de confiabilidade metrológica, consiste em manter, sistemas de medição estáveis (sob controle), efetuando verificações programadas em seus equipamentos. É necessário também, que haja uma harmonização com uma dada estação primária, para permitir a rastreabilidade dos resultados.

2.2. A VARIAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Um sistema de medição, mesmo utilizado de forma correta, na leitura de uma dimensão de uma peça, pode não encontrar o mesmo valor. Esse desvio σ_{med} é atribuído ao operador e ao instrumento. Deve-se controlar essas variações para que estejam dentro de um intervalo aceitável.

Em geral, a variação observada ocorre devido à variação no sistema de medição e à variação do produto a ser medido. Isso pode ser expresso estatisticamente, do seguinte modo:

admitindo-se que σ_{med} e σ_{prod} são independentes.

$$\sigma_{\text{obs}}^2 = \sigma_{\text{med}}^2 + \sigma_{\text{prod}}^2$$

onde:

σ_{obs} = desvio-padrão observada

σ_{med} = desvio-padrão da medição

σ_{prod} desvio-padrão do produto

A variação do produto depende do processo produtivo, sendo a outra parcela, o alvo deste estudo.

A variação do sistema de medição deve ser pequena, comparado com a variação do processo produtivo. É desejável que num controle dimensional de peças, capte-se somente a variação do

processo produtivo, sendo a parcela devido ao sistema de medição nulo ou pequeno.

Caso, por exemplo, a variação do sistema de medição represente 10% da variação observada, então em comparação à variação do processo produtivo, representará menos de 1%.

$$\sigma_{\text{prod}}^2 = 10^2 - 1^2$$

$$\sigma_{\text{prod}} = \sqrt{99} = 9,95$$

2.3. TIPOS DE VARIAÇÕES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

As variações no sistema de medição podem ser classificadas em cinco categorias, cujas definições são dadas a seguir¹.

2.3.1. EXATIDÃO

Variação entre o valor médio de um conjunto de medições e um valor de referência, que pode ser obtido em um aparelho de maior precisão.

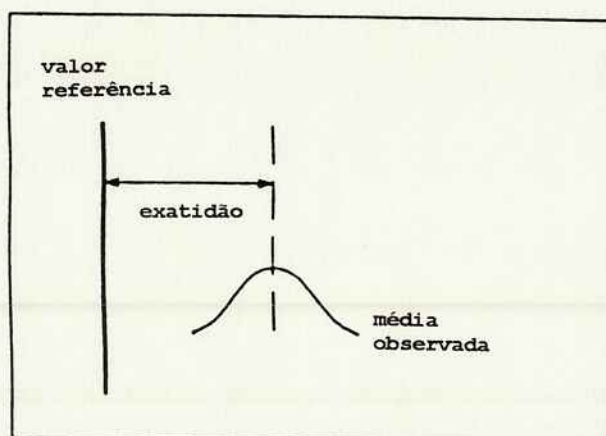


Fig. 2.1 - Exatidão

¹ As figuras deste item foram retirados da referência 10.

2.3.2. REPETITIVIDADE

Variação na medição, decorrente de um operador medir a mesma dimensão ou característica, várias vezes, utilizando o mesmo instrumento.

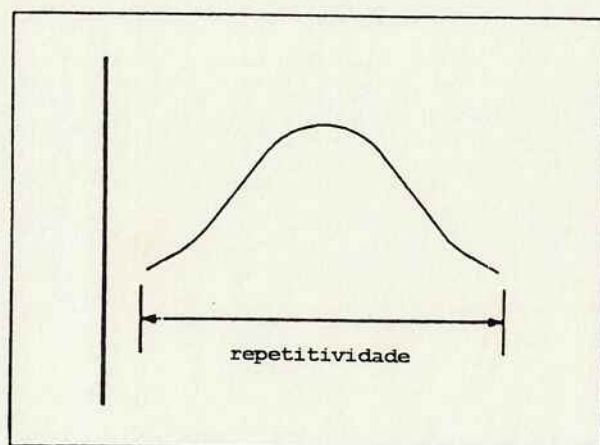


Fig. 2.2 - Repetitividade

2.3.3. REPRODUTIVIDADE

Variação nas médias das medições, decorrente de mais de um operador medir a mesma dimensão ou característica, várias vezes, utilizando o mesmo instrumento

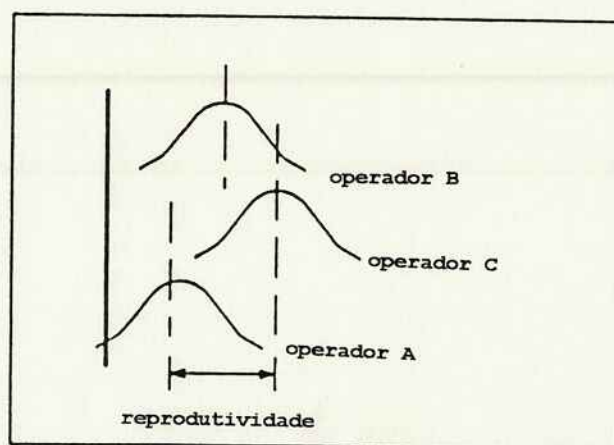


Fig. 2.3 - Reprodutividade

2.3.4. ESTABILIDADE

Variação das médias entre séries de medições, tomadas da mesma dimensão ou característica, utilizando o mesmo instrumento, em intervalos de tempo específicos.

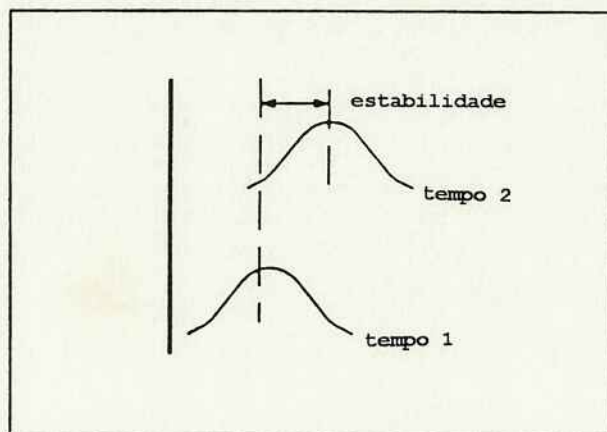


Fig. 2.4 - Estabilidade

2.3.5. LINEARIDADE

Variação nos valores de exatidão, dentro do intervalo de operação do instrumento.

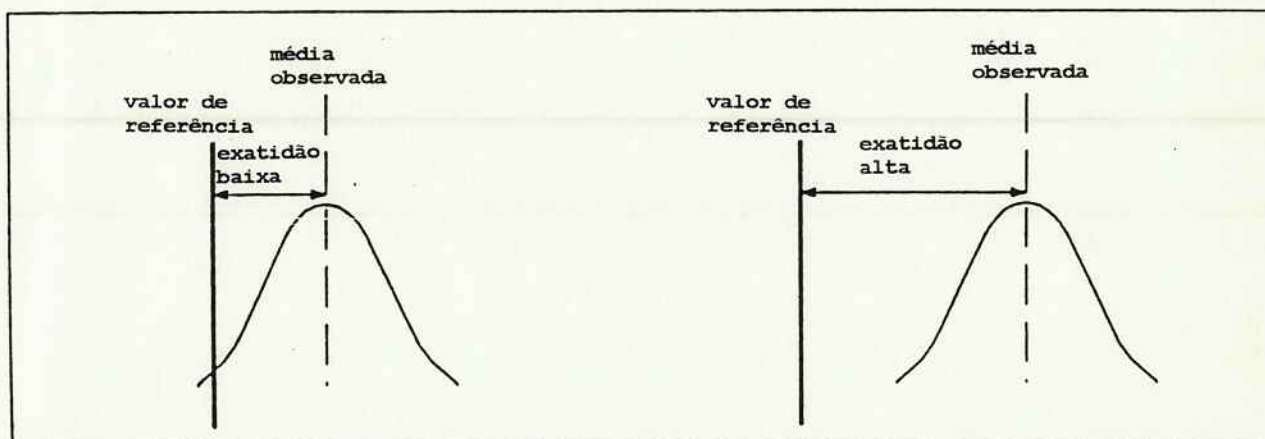


Fig. 2.5 - Linearidade

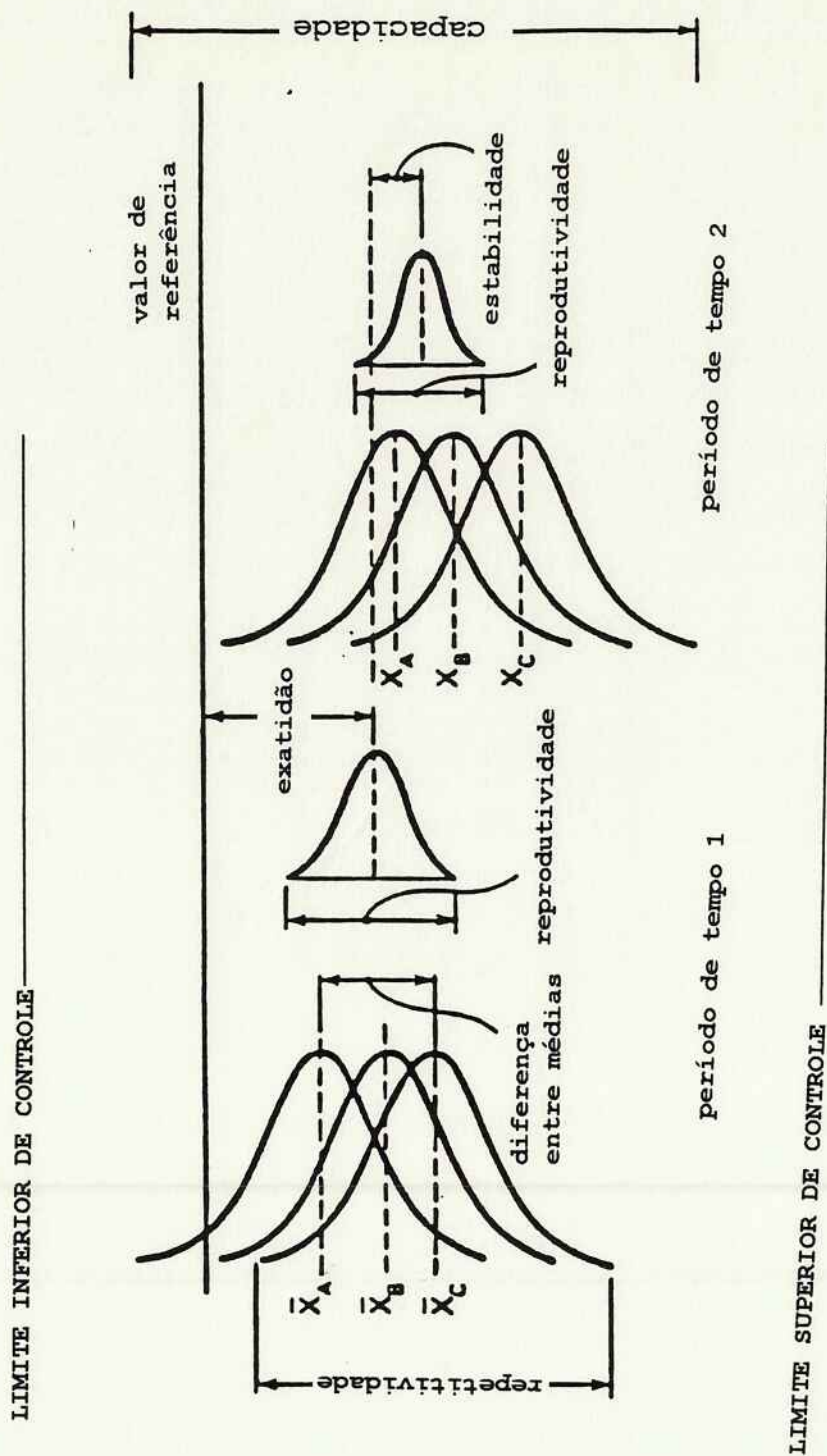


Fig. 2.6 - resumo das variações

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO

3.1. INTRODUÇÃO

A avaliação do sistema de medição é feita , através do estudo da repetitividade e reprodutividade. Para isso, serão apresentadas três metodologias.

Serão abordados também, métodos para verificar a exatidão, linearidade e estabilidade do sistema de medição.

3.2. DIRETRIZES GERAIS

A avaliação do sistema de medição é feita através de métodos estatísticos, que garantem que ele é adequado para uma tarefa.

Para execução dos testes o sistema de medição deve estar sob controle (estável).

Inicialmente, o sistema é submetido ao teste para verificar estatisticamente, se é adequado para dada tarefa. Caso seja considerado adequado, poderá ser utilizado. Do contrário, necessita ser melhorado ou substituído.

Periodicamente, é necessário fazer retestes para determinar se o sistema permanece aceitável. A periodicidade, é tratada no capítulo 5.

Os procedimentos de teste para cada sistema devem ser documentados com:

- exemplos práticos;
- especificações para seleção de peças a serem medidos e o ambiente em que ocorrerá o teste;
- especificações de como os dados devem ser coletados, registrados e analisados;

Para a avaliação do resultado, será utilizado um índice que medirá qual porcentagem, a variação do sistema, consome da tolerância da amostra (P.T.C.). Para esse cálculo será

utilizado um nível de confiança, cujo valor pode ser obtido de uma tabela de distribuição normal

Para $99\% : 2 * Z_{\alpha/2} * \sigma_{R\&R} = 2 * 2,575 * \sigma_{R\&R} = 5,15\sigma_{R\&R}$

$95\% : 2 * Z_{\alpha/2} * \sigma_{R\&R} = 2 * 1,96 * \sigma_{R\&R} = 3,92\sigma_{R\&R}$

$90\% : 2 * Z_{\alpha/2} * \sigma_{R\&R} = 2 * 1,645 * \sigma_{R\&R} = 3,29\sigma_{R\&R}$

A figura abaixo mostra a disposição do dados para realização da avaliação:

tabela 3.1.- disposição dos dados p/ estudo R&R

amostra	operador 1 1...r	...	operador p 1...r
1	$X_{111} \dots X_{11r}$		$X_{p11} \dots X_{p1r}$
.			
.			
.			
q	$X_{1q1} \dots X_{1qr}$		$X_{pq1} \dots X_{pqr}$

(elaborado pelo autor)

X_{ijk} representa a k-ésima repetição da j-ésima amostra do i-ésimo operador.

para:

i: 1...p p operadores

j: 1...q q amostras

k: 1...r r repetições

3.3. MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Serão descritos aqui três metodologias para avaliação do sistema de medição e feito uma comparação de seus desempenhos. São eles :

- Método Curto
- Método Longo
- Método de Análise de Variâncias

Nas referências, há explicação da sistemática de cada método. Porém, o procedimento para a execução é de autoria do autor.

Cada método será acompanhado de uma folha de coleta de dados que facilitará os cálculos e a análise dos resultados.

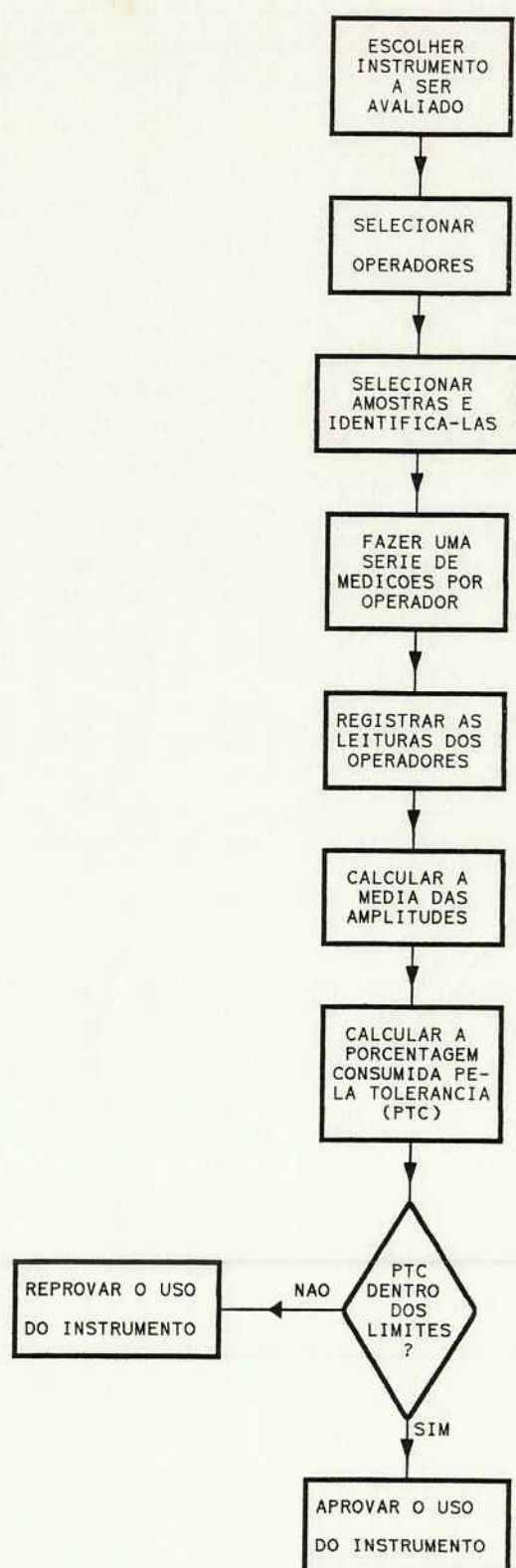


FIG. 3.1 - FLUXOGRAMA DO METODO CURTO
(ELABORADO PELO AUTOR)

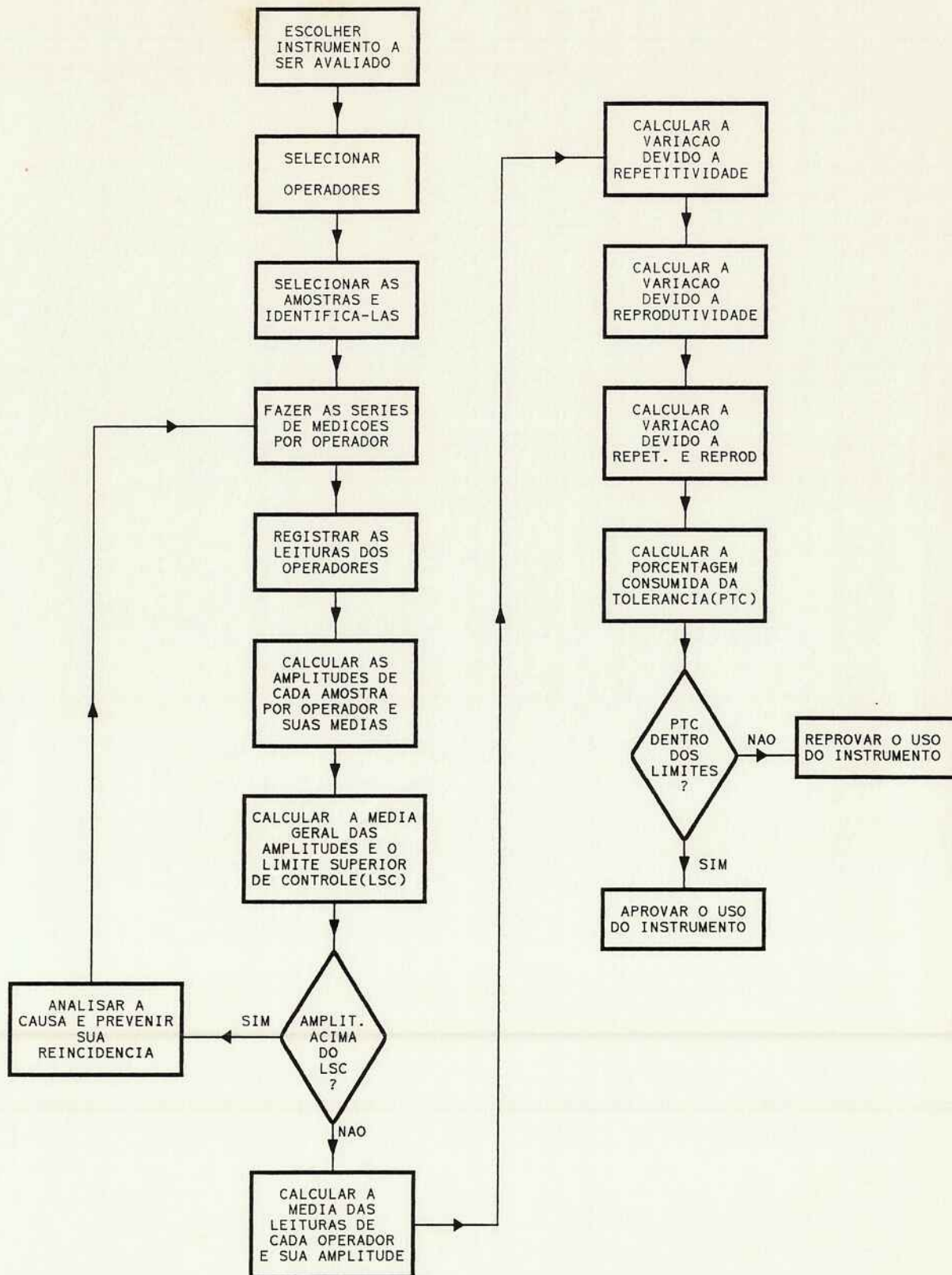


FIG. 3.2.- FLUXOGRAMA DO METODO LONGO
(ELABORADO PELO AUTOR)

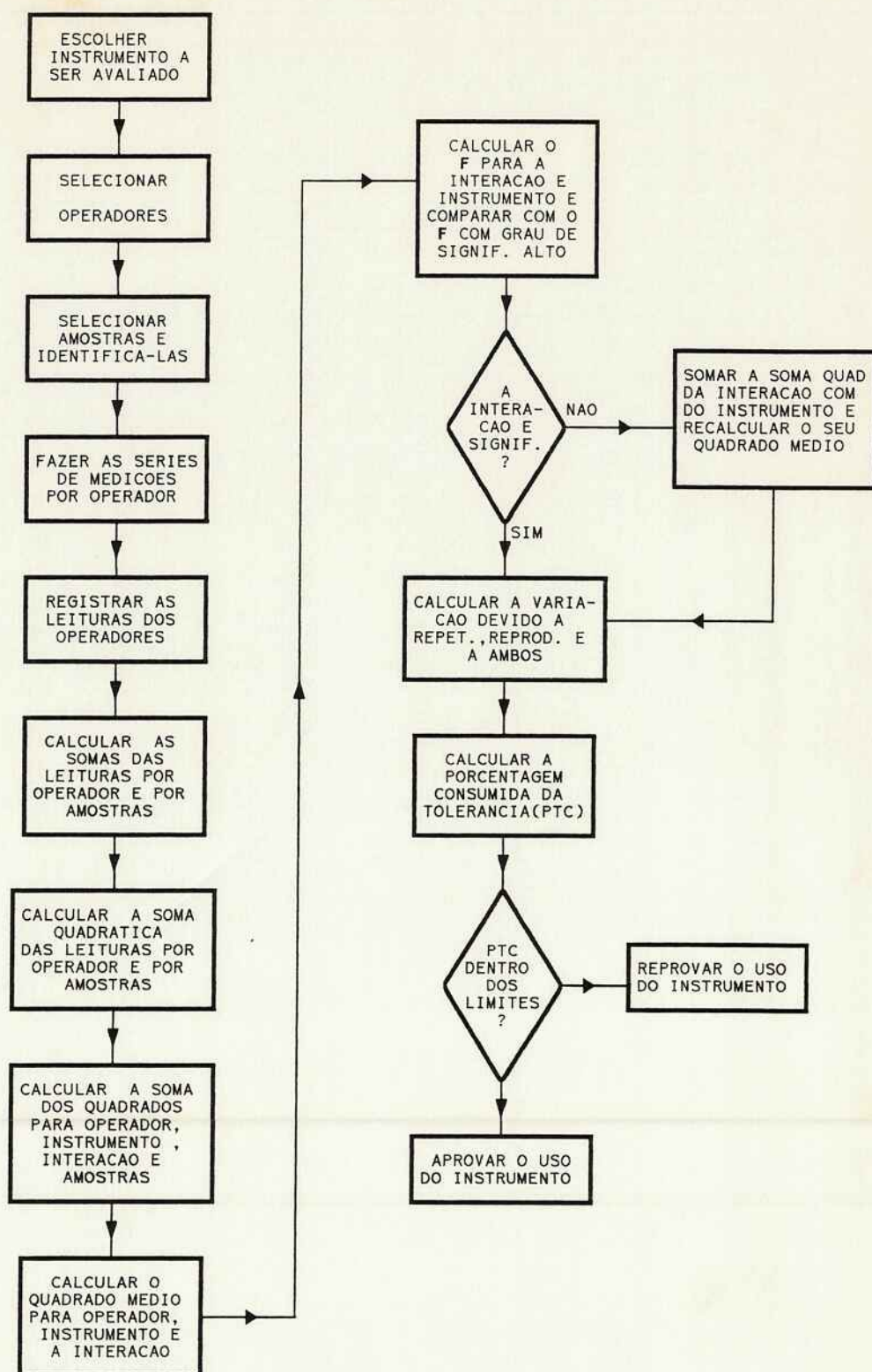


FIG. 3.3 - FLUXOGRAMA DO METODO DE ANALISE DE VARIANCIA

(ELABORADO PELO AUTOR)

tabela 3.2.- comparação entre métodos

método	nível de detalhamento	necessidade de cálculo
curto	R&R	baixa
longo	repetitividade reprodutividade R&R	média
análise de variância	repetitividade reprodutividade interação R&R	alta

(elaborado pelo autor)

Ocorre a interação, quando o efeito, devido a duas variáveis, não representa a soma de seus efeitos, separadamente. É um efeito multiplicativo.

A partir disso , já é possível ver a vantagem do método de análise de variância sobre os demais.

3.3.1. MÉTODO CURTO

Este método proporciona uma rápida aproximação da variabilidade nas medições. Porém, ele somente dá uma visão global, não decompondo a variabilidade do sistema, em repetitividade e reprodutividade.¹

PROCEDIMENTO

1 - Escolher o instrumento a ser testado, selecionar dois ou mais operadores e selecionar cinco ou mais amostras e identificá-las.

Os operadores deverão ser os mesmos que se utilizam do instrumento.

Quando possível, as amostras devem ser preparadas para minimizar a variação, devido ao processo produtivo. Ex.: No caso de medir-se o diâmetro de uma peça, deve-se marcar o local onde quer se fazer a medição. Pois caso contrário, as leituras podem refletir também a irregularidade da peça em seu diâmetro..

O teste deve ser aplicado no mesmo ambiente de trabalho dos operadores.

2 - Realizar as medições e registrar as leituras.

¹Foram utilizadas as referências 2 e 10 para estudo da sistemática do método, cabendo ao autor o desenvolvimento do procedimento.

Cada operador deverá medir todas as amostras, antes que o próximo venha a iniciar a sua medição.

O responsável pela execução do teste, deve entregar as amostras ao operadores de maneira aleatória e não permitir que um operador tenha conhecimento das leituras do outro, através da folha de coleta de dados. Isso é feito, para não influenciar a leitura de um operador.

3 - Calcular a média das amplitudes($\bar{R}$).

Para cada amostra (j-ésima amostra), deve-se calcular a amplitude das leituras realizadas entre operadores (R_j).

$$R_j = (X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}})$$

A seguir, calcular a média das amplitudes.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^q R_j}{q} \quad q : \text{número de amostras}$$

4 - Calcular a porcentagem consumida da tolerância (P.T.C.).

Inicialmente, deve-se converter a média das amplitudes em desvio padrão, multiplicando-a pelo fator d_2 para m operadores e g amostras. (ANEXO I, Tab.4).

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Calcular o P.T.C., multiplicando-se o desvio padrão por 5,15 (que representa 99% das medições para uma distribuição normal), dividindo-se pela tolerância e multiplicando-se por 100.

$$P.T.C. = (5,15 * \sigma / tol.) * 100\%$$

5 - Diretriz para avaliação do resultado

10% < P.T.C. < 25% critério fraco

P.T.C. < 10% critério forte

Dependendo da importância da medição, adotar um dos critérios acima.

Caso o valor do P.T.C. esteja fora do intervalo, o sistema necessita ser melhorado, não estando apto para ser utilizado na tarefa.

APARELHO TIPO:

PEÇA:

RESPONSÁVEL:

No. APARELHO:

CARACTERÍSTICA:

DATA: ____/____/____

TOLERÂNCIA:

OPERADORES				
AMOSTRAS	A:	B:	C:	AMPLITUDE (R)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
SOMA DAS AMPLITUDES				
				$\bar{R}$

$$R\&R = 5,15 * (1 / d_2) * \bar{R}$$

$$R\&R = 5,15 * () * ()$$

$$R\&R = ()$$

$$d_2 \text{ p/ m operadores e } g = 1$$

PORCENTAGEM TOLERÂNCIA CONSUMIDA:

$$PTC = (R\&R / \text{TOL.}) * 100$$

$$PTC = (() / ()) * 100$$

$$PTC = ()\%$$

DIRETRIZ:

SISTEMA É ACEITÁVEL CASO:

☐

PTC < 10%

CRITÉRIO FORTE

☐

10% < PTC < 25%

CRITÉRIO FRACO

REJEITAR O SISTEMA CASO:

☐

PTC > 25%

FIG. 3.4 - FOLHA DE COLETA DE DADOS E CÁLCULO, MÉTODO CURTO

(ADAPTADO DA REF. 10)

3.3.2. MÉTODO LONGO

Este método permite tirar melhores conclusões do que o curto, uma vez que decompõe a variabilidade do sistema em repetitividade e reprodutividade. Porém, caso haja interação, conduz a conclusões errôneas.

No caso da repetitividade ser grande em comparação à reprodutividade, as possíveis causas podem ser:²

- o instrumento necessita de manutenção.
- o local para medição necessita ser melhorado.
- a posição onde é realizado a medição não foi marcada corretamente.
- o aparelho, por motivos de projeto, não mede de forma adequada.

No caso a reprodutividade ser grande em relação à repetitividade as causas podem ser:³

- o operador necessita ser melhor treinado no uso do instrumento de medição.
- a calibração inicial do instrumento não é feita adequadamente.
- o instrumento tem difícil leitura.

Para a realização do estudo, o número de operadores(p), número de amostras(q) e número de repetições(r) podem variar, dependendo de suas disponibilidades e tempo despendido para a aplicação do estudo. Pode-se optar por utilizar

².referência 6.

³.referência 6.

3 operadores, 10 amostras e 3 repetições. Com esses números, obtém-se 30 pontos para a carta de controle para a amplitude.⁴

PROCEDIMENTO

1 - Escolher um instrumento a ser testado.

2 - Selecionar dois ou mais operadores.

Os operadores devem ser os mesmos que se utilizam do instrumento. Caso o número operadores seja pequeno e o processo de medição seja rápido, pode-se incluir todos no estudo.

3 - Selecionar dez amostras e identificá-las.

Quando possível, as amostras devem ser preparadas para minimizar a variação devido ao processo produtivo. Ex.: no caso de medir-se o diâmetro de uma peça, deve-se marcar o local onde quer se fazer a medição. Pois caso contrário, as leituras podem também refletir, as irregularidades da peça, em seu diâmetro.

4- Realizar as medições e registrar as leituras.

Cada operador deverá medir todas as amostras, antes que o próximo venha a iniciar a sua série de medição. Quando o

⁴Foram utilizados as referências 2, 4, 6 e 8 para o estudo da sistemática do método, cabendo ao autor o desenvolvimento dos procedimentos.

último operador realizar a série, o primeiro iniciará a próxima, até o término das medições.

O responsável pela execução do teste, deve entregar as amostras ao operadores de maneira aleatória e não permitir, que um operador tenha conhecimento das suas leituras anteriores e nem a dos outros, através de consulta à folha de coleta de dados. Isso é feito para não influenciar a leitura de um operador.

Para operadores que trabalham em turnos diferentes, pode-se coletar todas as séries de medições, uma de cada vez, de um operador, antes de coletar dos outros. Deve ser tomado o cuidado mencionado no parágrafo acima.

O teste deve ser aplicado no ambiente de trabalho dos operadores.

5 - Calcular para cada amostra por operador, a sua média($\bar{X}_{ij}$) e amplitude(R_{ij}).

$$\bar{X}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^r X_{ijk}}{r}$$

$$R_{ij} = \text{máx}(X_{ijk}) - \text{mín}(X_{ijk})$$

para o i-ésimo operador

j-ésima amostra

k-ésima série de medição

6 - Calcular a média das amplitudes por operador ($\bar{R}_i$), a média geral das amplitudes ($\bar{R}$) e o limite superior de controle(LSC).

$$\bar{R}_i = \frac{\sum_{j=1}^q X_{ij}}{q}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{R}_i}{p}$$

para o i-ésimo operador

j-ésima amostra

$$LSC = D_4 * \bar{R}$$

onde D_4 é extraído da tabela 5 do ANEXO I. (LIC = 0 até para $n = 5$)

No caso de qualquer leitura cair fora dos limites, deve-se parar o estudo. Primeiramente, deve-se identificar a causa especial, eliminá-la e prevenir a sua reincidência. A partir daí, pode-se retomar ao estudo.

7 - Calcular para cada amostra por operador, a média das séries de medições($\bar{X}_{ij}$), a média geral por operador($\bar{X}_i$) e a amplitude das médias entre os operadores($\bar{X}_{dif}$).

$$\bar{X}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^r X_{ijk}}{r}$$

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^q X_{ij}}{q}$$

$$\bar{X}_{dif} = \text{máx } \bar{X}_i - \text{mín } \bar{X}_i$$

8 - Calcular a variação devido à repetitividade(VE).

$$VE = 5,15 * \frac{\bar{R}}{d_2}$$

d_2 pode ser obtido na tabela 4 do ANEXO I, para m repetições e g amostras x operadores.

9 - Calcular a variação devido à reprodutividade (VO).

$$VO = \sqrt{(5,15 * \bar{X}_{dif} / d_2)^2 - (VE^2 / q * r)}$$

d_2 pode ser obtido na tabela 4 do ANEXO I, para m operadores e g = 1.

Caso resulte em valor negativo, dentro da raiz, VO = 0.

10 - Calcular a variação devido à repetitividade e reprodutividade (R&R).

$$R \& R = \sqrt{VE^2 + VO^2}$$

11 - Calcular a porcentagem consumida pela tolerância (PTC).

$$PTC = (R \& R / tol.) * 100\%$$

12 - Diretriz para avaliar o resultado.

P.T.C. < 10% critério forte

10% < P.T.C. < 25% critério fraco

Dependendo da importância da medição, adotar um dos critérios acima.

Caso o valor do P.T.C. esteja fora do intervalo, o sistema necessita ser melhorado, não estando apto para ser utilizado na tarefa.

APARELHO TIPO:

PEÇA:

RESPONSÁVEL:

Nº. APARELHO:

CARACTERÍSTICA:

DATA: ____/____/____

TOLERÂNCIA:

OPERADOR	A:				B:				C:			
	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	R	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	R	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	R
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
TOTAL												

SOMA $\bar{X}_A$

SOMA $\bar{X}_B$

SOMA $\bar{X}_C$

$\bar{R}_A$

$\bar{R}_B$

$\bar{R}_C$

$\bar{R}_A$	$\bar{R}_B$	$\bar{R}_C$	$\bar{R}$

$\bar{X}_{MAX}$	$\bar{X}_{MIN}$	$\bar{X}_{DIF}$

SERIES	2	3
D_4	3,27	2,58

LSC = $D_4 * \bar{R}$	
LSC = *	
LSC =	

FIG. 3.5.A FOLHA DE COLETA DE DADOS, MÉTODO LONGO (ADAPTADO DA REF 10)

REPETITIVIDADE:		PORCENT. CONSUM. DA TOLER.	
d_2 - Para m series de medicoes e g amostras X operadores $VE = 5,15 * \bar{R} * (1 / d_2)$ $VE = 5,15 * () * ()$ $VE = ()$		$PTC_E = (VE / TOL) * 100$ $PTC_E = (() / ()) * 100$ $PTC_E = () \%$	
REPRODUTIVIDADE: d_2 - Para m operadores e g=1 $VO = \sqrt{(5,15 * (\bar{X}_{OIF} * (1 / d_2))^2 - (VE^2 / qr)}$ $VO = \sqrt{(5,15 * () * ()^2 - (()^2 / (() * ()))}$ $VO = ()$ - Caso o valor da raiz seja 0, entao VO=0.		$PTC_O = (VO / TOL) * 100$ $PTC_O = (() / ()) * 100$ $PTC_O = () \%$	
REPETITIVIDADE & REPRODUTIVIDADE: $R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2}$ $R\&R = \sqrt{()^2 + ()^2}$ $R\&R = ()$		$PTC = (R\&R / TOL) * 100$ $PTC = (() / ()) * 100$ $PTC = () \%$	
DIRETRIZ: SISTEMA E' ACEITAVEL CASO: ☐ $PTC < 10\%$ CRITERIO FORTE ☐ $10\% < PTC < 25\%$ CRITERIO FRACO REJEITAR O SISTEMA CASO: ☐ $PTC > 25\%$			

FIG. 3.5.B - FOLHA DE CALCULO, METODO LONGO
(ELABORADO PELO AUTOR)

3.3.3. MÉTODO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Este método estima a variância com mais precisão que o método longo. Além de possibilitar o cálculo da variação devido ao instrumento (repetitividade) e ao operador (reprodutividade), calcula a eventual interação entre as variáveis em estudo.

No caso, estaria-se verificando a interação dos efeitos das amostras e dos operadores. Isto é, algum(s) operador(es) tem uma afinidade em medir certa(s) amostra(s).

Quando não há interação, os resultados entre o método longo e a análise de a variância podem ter resultados equivalentes. Porém, quando há interação, a utilização do método longo leva a resultados errôneos.

O método exige vários cálculos, sendo apropriado o uso de um computador. Uma disposição adequada é apresentado na folha de coleta de dados e cálculos (fig. 3.8.a, 3.7.b e 3.7.c) facilitando o cálculo, caso seja utilizado uma calculadora.

O número de operadores(p), de amostras(q) e de séries de medições(r) podem variar. Entretanto, quanto maior o seu número, maior serão o tempo dispendido para o teste e seus cálculos.

Pode-se optar por utilizar 3 operadores, 10 amostras e 3 repetições. Este é uma boa quantidade, já que gera 30 pontos, para a carta de controle para a amplitude.⁵

PROCEDIMENTO

1 - Escolher o instrumento a ser avaliado.

2 - Selecionar os operadores.

Os operadores deverão ser os mesmos que se utilizam do instrumento. Pode-se optar por utilizar todos que ou somente alguns.

3 - Selecionar as amostras e identificá-las.

Quando possível, as amostras devem ser preparadas para minimizar a variação devido ao processo produtivo. Ex.: no caso de medir-se o diâmetro de uma peça, deve-se marcar o local onde deseja-se fazer a medição. Pois caso contrário, as leituras podem refletir também as irregularidades da peça, em seu diâmetro.

4 - Realizar as medições e registrar as leituras.

Cada operador deverá medir todas as amostras, antes que o próximo venha a iniciar a sua série de medição. Quando o último operador realizar a série, o primeiro iniciará a próxima, até o término das medições.

⁵Foram utilizadas as referências 3, 5, 7 e 11 para o estudo da sistemática do método, cabendo ao autor o desenvolvimento do procedimento.

O responsável pela execução do teste, deve entregar as amostras ao operadores de maneira aleatória e não permitir, que um operador tenha conhecimento das suas leituras anteriores e nem a dos outros, através de consulta à folha de coleta de dados. Isso é feito para não influenciar a leitura de um operador.

Para operadores que trabalham em turnos diferentes, pode-se coletar todas as séries de medições, uma de cada vez, de um operador, antes de coletar dos outros. Deve ser tomado o cuidado mencionado no parágrafo acima.

O teste deve ser aplicado no ambiente de trabalho dos operadores.

5 - Verificar a igualdade de variâncias entre operadores através do teste de Cochran.

Calcular a variância para cada amostra por operador(S_{ij}^2) e a variância de cada operador(S_i^2).

$$S_{ij}^2 = \frac{\sum_{k=1}^r (X_{ijk} - \bar{X}_{ij})^2}{r - 1} \qquad S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^q S_{ij}^2}{q}$$

Calcular o $g_{(obs)}$ e comparar com o $g_{(crit)}$ a 5 % e graus de liberdade $k = p$ e $n = q \cdot (r-1)$. (tabela 3, ANEXO I)

$$g_{(obs)} = \frac{\max(S_i^2)}{\sum_{i=1}^p S_i^2}$$

Caso $g(\text{obs}) < g(\text{crít})$ então ao nível de 5% pode-se afirmar que não há diferenças entre as variâncias dos operadores.

Caso $g(\text{obs}) > g(\text{crít})$ então ao nível de 5% pode-se afirmar que há diferenças entre as variâncias dos operadores.

6 - Calcular a soma das leituras por operador(T_i) e a soma das leituras por amostras(T_j). Calcular o total das leituras(T) e o quadrado da soma dessas leituras(T_i^2) e (T_j^2).

$$T_i = \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^r X_{ijk} \quad T_j = \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^r X_{ijk}$$

$$T = \sum_{i=1}^p T_i = \sum_{j=1}^q T_j$$

Calcular a soma das leituras ao quadrado(Q_i) e (Q_j). Calcular o total dessa soma(Q).

$$Q_i = \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^r X_{ijk}^2 \quad Q_j = \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^r X_{ijk}^2$$

$$Q = \sum_{i=1}^p Q_i = \sum_{j=1}^q Q_j$$

Calcular a soma das séries de medições por operador, por amostra(T_{ij}).

$$T_{ij} = \sum_{k=1}^r X_{ijk}$$

7 - Calcular a soma quadrática entre operadores(SQ_o), entre amostras(SQ_a), da interação operador x amostras(SQ_{oa}), entre tratamentos(SQ_{tr}), total(SQ_t) e do equipamento(SQ_e).

$$SQ_o = \sum_{i=1}^p \frac{T_i^2}{qr} - \frac{T^2}{pqr}$$

$$SQ_a = \sum_{j=1}^q \frac{T_j^2}{pr} - \frac{T^2}{pqr}$$

$$SQ_{tr} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \frac{T_{ij}^2}{r} - \frac{T^2}{pqr}$$

$$SQ_i = SQ_{tr} - SQ_o - SQ_a$$

$$SQ_t = Q - \frac{T^2}{pqr}$$

$$SQ_e = SQ_t - SQ_{tr}$$

8 - Calcular o quadrado médio para o operador, amostras, interação operador/amostras e equipamento de medição.

$$MQ_o = \frac{SQ_o}{p - 1}$$

$$MQ_a = \frac{SQ_a}{q - 1}$$

$$MQ_{oa} = \frac{SQ_{oa}}{(p - 1)(q - 1)}$$

$$MQ_e = \frac{SQ_e}{pq(r - 1)}$$

9 - Calcular o F(obs) para a interação operador/amostras e comparar com o valor da distribuição F, com nível de significância $\alpha=0,05$ e devidos graus de liberdade.(tabela 2 do ANEXO I)

$$F_{(obs)} = \frac{MQ_{oa}}{MQ_e} > F_{(p-1)(q-1), pq(r-1), 5\%}$$

Caso a igualdade acima seja verdadeira, então a interação é significativa. Do contrário, somar a parcela SQ_{op} e SQ_e para SQ_{eg} calcular o MQ_{eg} , para $pqr-p-q+1$ graus de liberdade.

$$MQ_{eg} = \frac{SQ_{eg}}{pqr - p - q + 1}$$

10 - Calcular a variação devida a repetitividade (VE), reprodutividade (VO), interação (VI) e a todos eles (R&R).

$$VO = 5,15 * \sqrt{\frac{MQ_o - MQ_{oa}}{qr}}$$

$$VE = 5,15 * \sqrt{MQ_e}$$

$$VI = 5,15 * \sqrt{\frac{MQ_{oa} - MQ_e}{r}}$$

$$R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2 + VI^2}$$

Caso a interação não seja significativa, realizar os seguintes cálculos.

$$VO = 5,15 * \sqrt{\frac{MQ_o - MQ_{eq}}{qr}}$$

$$VE = 5,15 * \sqrt{MQ_{eg}}$$

$$R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2}$$

11 - Calcular a porcentagem consumida da tolerância (P.T.C)

$$PTC = \left(\frac{5,15 * \sigma_{R\&R}}{tol.} \right) * 100\%$$

11 - Diretriz para avaliar o resultado.

$P.T.C. < 10\%$ critério forte

$10\% < P.T.C. < 25\%$ critério fraco

Dependendo da importância da medição, adotar um dos critérios acima.

Caso o valor do P.T.C. esteja fora do intervalo, o sistema necessita ser melhorado, não estando apto para ser utilizado na tarefa.

APARELHO TIPO:

PEÇA:

RESPONSÁVEL:

No. APARELHO:

CARACTERÍSTICA:

DATA: ____/____/____

TOLERÂNCIA:

OPERADORES		A:		B:		C:		T_J	Q_J	T_J^2
AMOSTRAS	SERIE MED.	$\bar{x}$	$\bar{x}^2$	$\bar{x}$	$\bar{x}^2$	$\bar{x}$	$\bar{x}^2$			
1	1									
	2									
	3									
2	1									
	2									
	3									
3	1									
	2									
	3									
4	1									
	2									
	3									
5	1									
	2									
	3									
6	1									
	2									
	3									
7	1									
	2									
	3									
8	1									
	2									
	3									
9	1									
	2									
	3									
10	1									
	2									
	3									
T_I								$\alpha:$		$\beta:$
Q_I									$\lambda:$	
T_I^2								$\delta:$		

FIG 3.6.A - FOLHA DE COLETA DE DADOS, METODO ANALISE DE VARIANCIA

(ADAPTADO DA REF. 5)

$$\epsilon = \alpha^2 / (pqr)$$

$$\epsilon = (\quad)^2 / (\quad * \quad)$$

$$\epsilon = (\quad)$$

$$SQ_A = (\beta / (pr)) - \epsilon$$

$$SQ_A = ((\quad) / (\quad * \quad)) - (\quad)$$

$$SQ_A = (\quad)$$

$$SQ_O = (\delta / (qr)) - \epsilon$$

$$SQ_O = ((\quad) / (\quad * \quad)) - (\quad)$$

$$SQ_O = (\quad)$$

$$SQ_{TR} = (\tau / r) - \epsilon$$

$$SQ_{TR} = ((\quad) / (\quad)) - (\quad)$$

$$SQ_{TR} = (\quad)$$

$$SQ_I = SQ_{TR} - SQ_A - SQ_O$$

$$SQ_I = (\quad) - (\quad) - (\quad)$$

$$SQ_I = (\quad)$$

$$SQ_T = \lambda - \epsilon$$

$$SQ_T = (\quad) - (\quad)$$

$$SQ_T = (\quad)$$

$$SQ_E = SQ_T - SQ_{TR}$$

$$SQ_E = (\quad) - (\quad)$$

$$SQ_E = (\quad)$$

VERIFICACAO DA IGUALDADE DE VARIANCIAS:

$$g(\text{obs}) = \max(S_A^2, S_B^2, S_C^2) / \text{soma}(S_A^2, S_B^2, S_C^2)$$

$$g(\text{obs}) = (\quad) / (\quad)$$

$$g(\text{obs}) = (\quad)$$

$$g(5\%, p, q(r-1)) =$$

Para cada amostra por operador, somar as medicoes, elevar o resultado ao quadrado e preencher o quadro abaixo.

	A	B	C	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
SOMA				SOMA
				τ :

Para cada amostra por operador, calcular a variancia e preencher o quadro abaixo.

	A	B	C	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
MEDIA				SOMA

FONTE	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MEDIO (MQ)	F	F _{5%}
AMOSTRAS	SQ_A	$q - 1$	$SQ_A / (q - 1)$		
OPERDORES	SQ_O	$p - 1$	$SQ_O / (p - 1)$		
INTERACAO	SQ_I	$(p - 1)(q - 1)$	$SQ_I / (p - 1)(q - 1)$	MQ_I / MQ_E	$F_{(p-1)(q-1), pq(r-1), 5\%}$
TRATAMENTOS	SQ_{TR}	$pq - 1$	$SQ_{TR} / (pq - 1)$		
EQUIPAMENTO	SQ_E	$pq(r - 1)$	$SQ_E / (pq(r - 1))$		
TOTAL	SQ_T	$pqr - 1$	$SQ_T / (pqr - 1)$		

FIG 3.6.B - FOLHA DE CALCULO 1, METODO ANALISE DE VARIANCIA (ELABORADO PELO AUTOR)

FONTE	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MEDIO (MQ)	F	F _{5%}
AMOSTRAS					
OPERADORES					
INTERACAO(OA)					
TRATAMENTOS					
EQUIPAMENTO					
TOTAL					

Caso $F > F_{5\%}$, entao

$$VO = 5,15 * \sqrt{(MQ_O - MQ_{OA}) / qr}$$

$$VO = 5,15 * \sqrt{(() - ()) / (() * ())}$$

$$VO = ()$$

$$VE = 5,15 * \sqrt{MQ_E}$$

$$VE = 5,15 * \sqrt{()}$$

$$VE = ()$$

$$VI = 5,15 * \sqrt{(MQ_{OA} - MQ_E) / r}$$

$$VI = 5,15 * \sqrt{(() - ()) / ()}$$

$$VI = ()$$

Caso $F < F_{5\%}$, entao

(VI = 0)

$$MQ_{EG} = (SQ_E + SQ_{OA}) / (pqr - p - q + 1)$$

$$MQ_{EG} = (() + ()) / (() * () * () - () - () + 1)$$

$$MQ_{EG} = ()$$

$$VO = 5,15 * \sqrt{(MQ_O - MQ_{EG}) / qr}$$

$$VO = 5,15 * \sqrt{(() - ()) / (() * ())}$$

$$VO = ()$$

$$VE = 5,15 * \sqrt{MQ_{EG}}$$

$$VE = 5,15 * \sqrt{()}$$

$$VE = ()$$

$$R\&R = \sqrt{VO^2 + VA^2 + VI^2}$$

$$R\&R = \sqrt{()^2 + ()^2 + ()^2}$$

$$R\&R = ()$$

PORCENTAGEM CONSUMIDA PELA TOLERANCIA

REPETITIVIDADE:

$$PTC_E = (VE / TOL) * 100$$

$$PTC_E = (() / ()) * 100$$

$$PTC_E = () \%$$

REPRODUTIVIDADE:

$$PTC_O = (VO / TOL) * 100$$

$$PTC_O = (() / ()) * 100$$

$$PTC_O = () \%$$

INTERACAO:

$$PTC_I = (VI / TOL) * 100$$

$$PTC_I = (() / ()) * 100$$

$$PTC_I = () \%$$

REPET. & REPROD.

$$PTC = (R\&R / TOL) * 100$$

$$PTC = (() / ()) * 100$$

$$PTC = () \%$$

DIRETRIZ:

SISTEMA E' ACEITAVEL CASO:

☐

PTC < 10%

CRITERIO FORTE

☐

10% < PTC < 25%

CRITERIO FRACO

REJEITAR O SISTEMA CASO:

☐

PTC > 25%

FIG 3.6.C - FOLHA DE CALCULO 2, METODO ANALISE DE VARIANCIA
(ELABORADO PELO AUTOR)

3.4. EXATIDÃO

PROCEDIMENTO

- 1 - Selecionar um instrumento, amostras e um operador.

Para isso, deve-se seguir os mesmos critério do estudo de R&R, podendo-se utilizar os próprios.

- 2 - Realizar uma ou mais medições por amostra. Calcular a média dessas medições($\bar{X}$).

- 3 - Utilizando-se de um instrumento de maior precisão⁶, realizar uma ou mais medições por amostra. Determinar a média dessas medições($\bar{X}_M$), obtendo um valor de referência.

- 4 - Subtrair a média observada do valor de referência, obtendo-se a exatidão.

EXATIDÃO = VALOR DE REFERÊNCIA - MÉDIA OBSERVADA

- 5 - Para convertê-la para porcentagem da tolerância, multiplicá-la por 100 e dividi-la pela tolerância.

$$PTC_{EXAT} = \frac{EXATIDÃO}{tol.} * 100\%$$

Caso a exatidão seja relativamente grande, observar para essas possíveis causas:⁷

- instrumento desgastado.

⁶ quando possível utilizá-lo em um ambiente controlado, próprio para medições

⁷ referência 6

- instrumento medindo característica errada.
- instrumento não calibrado adequadamente.
- instrumento utilizado inadequadamente pelo operador.

3.5. ESTABILIDADE

Um método para estudo da estabilidade do sistema de medição é "plotar" em cartas de controle, a média e a amplitude das leituras de amostras, feitas em intervalos de tempo determinados. Pode ser determinado através desta análise, que um ponto fora do limite de controle, é sinal que o sistema de medição necessita ser aferido/calibrado.

PROCEDIMENTO

- 1 - Selecionar um sistema de medição e cinco amostras. (o número de amostras pode variar).
- 2 - Uma vez por semana, o sistema deve medir as mesmas amostras.
- 3 - Calcular a média($\bar{X}_s$) e amplitude(R_s) para cada semana e plotar em cartas de controle $\bar{X}$ e R.

$$\bar{X}_s = \frac{\sum_{j=1}^q X_j}{q}$$

$$R_s = \text{máx}(X_j) - \text{mín}(X_j)$$

para s-ésima semana

j-ésima amostra

- 4 - Após a 25ª semana, deve-se calcular a média geral($\bar{\bar{X}}$), a média das amplitudes($\bar{R}$), os limites de controle superior e inferior e traçá-los nas devidas cartas de controle.

5 - Verificar se o sistema tem poder de discriminação adequado⁸, isto é, se ele é capacitado a detectar variações que ocorrem no produto/processo em função de diversos fatores. Uma regra básica para isso é, se na carta de controle R, houver 3 ou menos valores possíveis , então o sistema não tem discriminação adequada..

6 - Verificar a existência de pontos fora de controle. A existência de pontos fora dos limites ou tendências, pode ser sinal de necessidade de calibração.

Não há necessidade de calcular um índice para medir a estabilidade do sistema de medição. O desempenho do sistema pode ser observado nas cartas de controle.

⁸referência 14

3.6. LINEARIDADE

PROCEDIMENTO

1 - Selecionar um instrumento de medição, um operador e cinco amostras dentro do limite de operação do instrumento.

As mesmas condições do estudo R&R devem ser obedecidas.

2 - O operador deve medir cada amostra cinco vezes.

3 - Deve-se anotar os valores e calcular as médias de cada amostra.

$$\bar{X}_q = \frac{\sum_{k=1}^r X_{jk}}{r}$$

X_{jk} representa a k-ésima repetição feita na j-ésima amostra, para q amostras e r repetições.

4 - A partir de um instrumento de maior precisão, obter valores de referência para cada amostra. Com esses dados, calcular a exatidão para cada amostra.

$$\text{EXATIDÃO}_j = \text{VALOR DE REF}_j - \text{MÉDIA OBS}_j$$

5 - Determinar a equação de reta que expressa a relação entre as exatidões e os valores de referência.

$$\text{EXATIDÃO} = a * \text{VALOR DE REFERÊNCIA} - b$$

$$a = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X \sum Y)}{q}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{q}}$$

$$b = \frac{\sum Y - a \sum X}{q}$$

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{q}}{\sqrt{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{q})(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{q})}}$$

Em geral, quanto menor o coeficiente de correlação(a), melhor a linearidade do instrumento. Multiplicando-se o coeficiente de regressão (a) pela tolerância, tem-se a linearidade, e multiplicando (a) por 100%, tem-se o PTC.

O coeficiente de correlação (r) mede se a exatidão e a medida "mestra" possuem uma boa relação linear. Para $-1 \leq r \leq 1$, quanto mais próximo de 1 ou -1, melhor a relação linear.

Caso o instrumento não apresente boa linearidade, observar as possíveis causas:⁹

- o instrumento não está calibrado adequadamente, em seus extremos de operação.
- instrumento desgastado.
- erro nos valores de referência mínimo ou máximo.

⁹ referência 6

CAPÍTULO 4

COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

4. COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Este tipo de comparação pode ser feita, quando quer se saber, se um sistema é equivalente a outro. Isto é, se eles possuem igualdade de média e de precisão. Comparar, por exemplo, o sistema de medição do fornecedor e cliente, implica basicamente, em comparar o desempenho dos operadores, do instrumento de medição e procedimentos, de um contra o outro.

Para isso, serão utilizados o método da análise de variâncias (hierarquizada)¹⁰, para verificar a igualdade de médias (teste F de Snedecor) e o teste de Cochran, para a igualdade de variâncias.

Será utilizada a seguinte disposição para a comparação:

tabela 4.1 - disposição dos dados do estudo

amostra	sistema 1 1...r	...	sistema p 1...r
1	$X_{111} \dots X_{11r}$		$X_{p11} \dots X_{p1r}$
.			
.			
.			
q	$X_{1q1} \dots X_{1qr}$		$X_{pq1} \dots X_{pqr}$

¹⁰ A referência utilizada para estudo da sistemática do método foi a 7, cabendo ao autor, o desenvolvimento do procedimento. A análise de variancia trata de variáveis cruzadas, coisa que não ocorre nesta sistemática.

X_{ijk} representa a leitura feita pelo i -ésimo sistema de medição, na j -ésima amostra, utilizando-se do k -ésimo operador.

onde $i : 1...p$ p sistemas de medição
 $j : 1...q$ q amostras
 $k : 1...r$ r operadores

PROCEDIMENTO

- 1 - Escolher os sistemas a serem comparados .
- 2 - Selecionar os operadores.

Os operadores deverão ser os mesmos que se utilizam do instrumento, dentro do sistema..

- 3 - Selecionar as amostras e identificá-las.

Quando possível, as amostras devem ser preparadas para minimizar a variação devido ao processo produtivo. Ex.: no caso de medir-se o diâmetro de uma peça, deve-se marcar o local onde deseja-se fazer a medição. Pois, caso contrário, as leituras podem também, refletir as irregularidades da peça, em seu diâmetro.

- 4 - Realizar as medições e registrar as leituras.

Cada operador deverá medir todas as amostras, antes que o próximo venha a iniciar a sua série de medição. Quando o último operador realizar a série, o primeiro iniciará a próxima, até o término das medições.

O responsável pela execução do teste, deve entregar as amostras ao operadores de maneira aleatória e não permitir, que um operador tenha conhecimento das suas leituras anteriores e nem a dos outros, através de consulta à folha de coleta de dados. Isso é feito para não influenciar a leitura de um operador.

Para operadores que trabalham em turnos diferentes, pode-se coletar todas as séries de medições, uma de cada vez, de um operador, antes de coletar dos outros. Deve-se tomar o cuidado mencionado no parágrafo acima.

5 - Calcular a variância para cada sistema(S_i^2).

Inicialmente, calcula-se a média($\bar{X}_{ij}$) e a variância(S_{ij}^2) de cada amostra por sistema.

$$\bar{X}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^r X_{ijk}}{r}$$

$$S_{ij}^2 = \frac{\sum_{k=1}^r (X_{ijk} - \bar{X}_{ij})^2}{r - 1}$$

Calcular para cada sistema, a sua variância(S_i^2).

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^q S_{ij}^2}{q}$$

6 - verificar a igualdade de variâncias entre os sistemas de medições.

Calcular o g_{obs} e comparar com o g_{crit} com graus de liberdade, p e $q(r-1)$ e nível de significância $\alpha=5\%$. (tabela 3 ANEXO I)

$$g_{obs} = \frac{\max S_i^2}{\sum_{i=1}^p S_i^2}$$

Caso $g_{obs} < g_{crit}$ não há evidência de diferença entre variâncias (a um nível de 5%), havendo igualdade de precisão.

Caso $g_{obs} > g_{crit}$ há evidência de diferença entre variâncias (a um nível de 5%), havendo diferença na precisão.

7 - Calcular a soma das leituras por amostra para cada sistema (T_{ij}) e a soma total das leituras por amostras (T_j). Calcular o total das leituras (T) e o quadrado da soma dessas leituras (T_{ij}^2), (T_j^2) e (T^2).

$$T_{ij} = \sum_{k=1}^r X_{ijk}$$

$$T_j = \sum_{i=1}^p T_{ij}$$

$$T = \sum_{j=1}^q T_j$$

Calcular a soma das leituras ao quadrado (Q).

$$Q = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^r X_{ijk}^2$$

8 - Calcular a soma quadrática entre amostras (SQ_a), entre sistemas dentro das amostras (SQ_s), entre operadores dentro dos sistemas (SQ_o) e total (SQ_t)

$$SQ_a = \sum_{j=1}^q \frac{T_j^2}{pr} - \frac{T^2}{pqr}$$

$$SQ_s = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \frac{T_{ij}^2}{r} - \sum_{j=1}^q \frac{T_j^2}{pr}$$

$$SQ_t = Q - \frac{T^2}{pqr}$$

$$SQ_o = SQ_t - SQ_s - SQ_a$$

9 - Calcular o quadrado médio para o sistema, amostras e operadores.

$$MQ_s = \frac{SQ_s}{p - 1}$$

$$MQ_a = \frac{SQ_a}{q - 1}$$

$$MQ_o = \frac{SQ_o}{pq(r - 1)}$$

10 - Verificar a igualdade de médias entre os sistemas de medição.

Calcular o F para sistemas dentro das amostras e operadores dentro dos sistemas e comparar com o valor da distribuição F, com nível de significância $\alpha=0,05$ e devidos graus de liberdade. (tabela 2, ANEXO I)

$$F = \frac{MQ_s}{MQ_o} < F_{p-1, pq(r-1), 5\%}$$

$F(\text{obs}) < F(\text{crít})$ não há evidência, ao nível de 5%, de que há diferença entre as médias dos sistemas de medição.

$F(\text{obs}) > F(\text{crít})$ há evidência, ao nível de 5%, de que há diferença entre as médias dos sistemas de medição

	SISTEMA 1	SISTEMA 2
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
MEDIA		

SOMA

VERIFICACAO DA IGUALDADE DE VARIANCIAS

$$g(OBS) = \max(S_1^2, S_2^2) / SOMA$$

$$g(ops) = () / ()$$

$$g(ops) = ()$$

$$g(5\%, P, q(r-1)) = ()$$

☐ $g(ops) < g(5\%)$, ha igualdade de variancias entre sistemas

☐ $g(ops) > g(5\%)$, nao ha igualdade de variancias entre sistemas

$$SQ_A = Z / pr - W / pqr$$

$$SQ_A = () / (() * ()) - () / (() * ())$$

$$SQ_A = ()$$

$$SQ_S = (U + Y) / r - Z / pr$$

$$SQ_S = (() + ()) / () - () / (() * ())$$

$$SQ_S = ()$$

$$SQ_T = S + T + V + X - W / pqr$$

$$SQ_T = () + () + () - () / (() * ())$$

$$SQ_T = ()$$

$$SQ_O = SQ_T - SQ_S - SQ_A$$

$$SQ_O = () - () - ()$$

$$SQ_O = ()$$

FIG. 4.1.B - FOLHA DE CALCULO1, COMPARACAO ENTRE SISTEMAS
(ELABORADO PELO AUTOR)

FONTE	SQ	G. DE LIBERDADE	MQ	F(obs)	F(5%)
AMOSTRAS	SQ_A	$q-1$	$SQ_A/(q-1)$		
SIST DENTRO DAS AMOSTRAS	SQ_S	$q(p-1)$	$SQ_S/(q(p-1))$	MQ_S/MQ_O	$F(5\%, p, q(r-1))$
OPER. DENTRO DOS SISTEMAS	SQ_O	$pq(r-1)$	$SQ_O/(pq(r-1))$		
TOTAL	SQ_T				

VERIFICAR A IGUALDADE ENTRE AS MEDIAS DOS SISTEMAS:

☐

$F(obs) < F(5\%)$, ha igualdade entre as medias dos sistemas

☐

$F(obs) > F(5\%)$, nao ha igualdade entre as medias dos sistemas

FONTE	SQ	G. DE LIBERDADE	MQ	F(obs)	F(5%)
AMOSTRAS					
SIST DENTRO DAS AMOSTRAS					
OPER. DENTRO DOS SISTEMAS					
TOTAL					

FIG. 4.1.C - FOLHA DE CALCULO2, COMPARACAO ENTRE SISTEMAS
(ELABORADO PELO AUTOR)

CAPÍTULO 5

ADMINISTRAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

5.1. RASTREABILIDADE

Rastreabilidade em sistemas de medição significa referenciar padrões que utilizamos com os de um nível mais elevado, de maior precisão. Essa referência é feita de forma hierarquizada.

O órgão encarregado de assegurar a unificação mundial de medidas é o BIPM -Bureau International des Poids et Measures. O BIPM define os padrões fundamentais, estabelece escalas de grandeza e conserva os padrões internacionais.

A níveis de hierarquização são descritos a seguir¹¹:

nível 1 : padrões nacionais em poder do INMETRO, INPE, etc., que são referenciados aos padrões de nível 0 (BIPM)

nível 2 : padrões de mesma precisão do nível 1, sendo a eles referenciados

nível 3 : Centros de aferição licenciados pelo INMETRO. Credenciamento por prazo limitado. refere-se a autorização de serviços em nome da INMETRO em uma dada gama de medições a uma dada precisão.

nível 4 : laboratórios de medição de uma indústria reconhecidos pelo INMETRO. Padrões referenciados ao nível 3

¹¹ referência 2

5.2. IDENTIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

É necessário levantar, identificar e cadastrar todos os instrumentos de medição.

A seguir é apresentado um exemplo de codificação, que além de apresentar um número código, apresenta também a sua localização e tipo de aparelho.

— 01 — - — 02 — - — 03 —

01 - localização:

TL - fabrica TL

MP - controle de materia prima

LQ - laboratório químico

MN - manutenção

02 - tipo de instrumento

PA - paquímetro

MI - micrômetro

AM - amperímetro

VO - voltímetro

03 - número sequencial

Identifica cada instrumento pertencente aos grupos anteriores.

No início, a metrologia deve levantar nos departamentos uma lista contendo todos os seus instrumentos de

medição. A seguir, prepara as chapas de identificação para serem fixadas ou grava a identificação no próprio aparelho.

A metrologia deve ficar encarregada de identificar todo instrumento novo que for adquirido.

5.3. VALIDAÇÃO

A validação envolve duas operações, uma passiva e outra ativa:

- Aferição - Verificar a correção do valor lido em um instrumento de medição ou ensaio. Fornece um curva ou tabela com valores de correção.

- Calibração - Ajuste de um instrumento a um padrão apropriado em decorrência dos resultados de uma aferição.

Para todo instrumento aferido/calibrado deve ser emitido um certificado de validação. Este deve conter:

- Nome da entidade certificadora
- identificação e data do certificado
- identificação do instrumento
- características técnicas do instrumento
- referência ao instrumento padrão (identificação, descrição, marca, procedência, modelo, série, identificação e origem do certificado de validação)
- relatório de validação
- outros dados (nome e assinatura do responsável)

A validação deve possuir procedimentos específicos e feito em local adequado para tal (ambiente próprio para a finalidade).

Após a validação, deve-se fixar uma etiqueta no instrumento, contendo a data de última validação e a próxima. Esta deve resistente ao uso do instrumento.

Cada instrumento deve ter uma ficha histórica contendo as validações e consertos efetuados.

Deve ser criado um mapa de acompanhamento de validações, contendo todos os instrumentos, periodicidade entre validações e data da próxima validação. A periodicidade é tratada no próximo item.

Semanalmente, deve ser emitido uma listagem do mapa, contendo os instrumentos a serem validados, na semana seguinte.

5.4. INTERVALO ENTRE VALIDAÇÕES

Programas de garantia da qualidade exigem data para próxima validação, porém não menciona um ciclo.

Por um lado, estender o período entre validações trariam vantagens econômicas imediatas devido ao custo do processo. Porém, isso pode ser desaconselhável, ou mesmo perigoso do ponto de vista técnico.

Para solucionar esse problema utilizaremos a abordagem intuitiva de SCHUMACHER.¹² Todo instrumento necessita de revalidações, para que fique conforme com certas exigências ou com especificações cabíveis. Por ocasião da revalidação, um instrumento pode ser classificado, conforme as condições em que se encontre; temos então:

-A (Avaria) :designa o problema que possa prejudicar um ou mais parâmetros do instrumento.

-C (Conforme) : designa conformidade, devidamente comprovada durante a reavaliação.

-F (Fora de tol.): o instrumento funciona bem, mas está fora de tolerância. Tolerância alteradas podem levar a classificações A ou como F.

Utilizando as informações da ficha histórica do instrumento, podemos formar um parecer a respeito do seu desempenho do. Por exemplo, um instrumento conforme (C) não vai

¹² referência 12

ficar mais conforme apenas pelo fato de ser reavaliado. Pode até ser que o instrumento venha a ser avariado em reavaliação desnecessária. Portanto seqüência de C's significa que o ciclo pode ser aumentado.

Do mesmo modo seqüência de F's indicam existência de problemas. O ciclo deve ser reduzido e ao mesmo tempo, seja pesquisado a causa do problema.

Essa metodologia pode ser utilizada do mesmo modo, para determinar o intervalo entre os estudos de R&R, utilizando-se do histórico do instrumento.

A tabela 5.1. reúne os casos de interesse e abrange pelo menos dois ciclos anteriores ao presente. Com base no desempenho anterior e na condição atual, podemos tomar decisões; elas são indicadas por letras maiúsculas e temos:

- E (Estender) : indica que a duração deve ser aumentada
- D (Diminuir) : indica que a duração deve ser diminuída
- M (Máxima redução) : indica redução do ciclo a mínima
- P (Permanece) : indica que permanece o mesmo ciclo (caso duvidoso)

tabela 5.1 - classificação de instrumento

CICLOS ANTERIORES	CONDIÇÃO NO RECEBIMENTO		
	A	B ^F	C.
CCC	P	D	E
FCC	P	D	P
ACC	P	D	E
CF	M	M	P
CA	M	M	P
FC	P	M	P
FF	M	M	P
FA	M	M	P
AC	P	D	P
AF	M	M	P
AA	M	M	P

(transcrito da ref.12)

tabela 5.2 - novos ciclos

CICLO CORRENTE	NOVO CICLO (VALORES EM SEMANAS)		
	D	E	P
5	4	7	5
6	*		
8	5	8	6
10	5		
12	7	10	8
14	5		
16	9	13	10
18	6		
20	11	15	12
24	7		
28	13	17	14
32	8		
36	14	19	16
52	10		
	16	21	18
	12		
	18	24	20
	13		
	22	28	24
	15		
	25	32	28
	19		
	29	37	32
	21		
	32	41	36
	24		
	47	52	52
	37		

*separar este instrumento não convém reduzir o ciclo a menos de 4 semanas

(transcrito da ref 12)

O período em que um instrumento pode passar sem necessidade de ser aferido/calibrado, varia de acordo com suas características e uso. A tabela 5.3, que exprime a periodicidade de tipos de instrumentos de medição, pode ser utilizada como referência.

tabela 5.3 - periodicidade de aferição/calibração

instrumentos	periodicidade
*Aparelho para ensaio por partículas magnéticas: - "Yoke"	diária
*Aparelho para ensaio por ultrassom	
*Amperímetro/Voltímetro	mensal
*Clinômetro	
*Bombas hidráulicas para aferição de manômetros	trimestral
*Termopar	
*Aparelho para ensaio por partículas magnéticas: - Técnica dos eletrodos	semestral
*Calibrador pneumático	
*Controlador de temperatura	
*Higrômetro	
*Manômetro: - ou antes de qualquer teste, qdo especificado	
*Megômetro	
*Micrômetro	
*"Multitest"	
*Paquímetro	
*Pirômetro	
*Potenciômetro	
*Psicômetro	
*Registrado de temperatura	
*Termômetro	
*Trena	
*Alicate amperímetro/voltímetro (padrão)	anual
*Anemômetro (com tubo de "Pitot" e coluna manométrica)	
*Calibrador de pressão	
*Coluna manométrica	
*Década de resistência	
*Fonte de alimentação variável	
*Manômetro de peso morto	
*Máquina de ensaio: - "Charpy" (por impacto)	
- "Drop weight"	
- Mecânico (universal)	
*Medidor de radiação	
*Relógio comparador	
*Termostato	

Nota: esta tabela é indicativa, não levando em consideração variações construtiva, intensidade de uso tipo de aplicação, bem como a importância da medição efetuada. Essas e outras particularidades deverão ser consideradas no estabelecimento da periodicidade, observando-se as demais recomendações de fabricante.

(transcrito da ref. 1)

CAPÍTULO 6

APLICAÇÃO DOS ESTUDOS

6.1. - REPETITIVIDADE & REPRODUTIVIDADE

O experimento para este estudo foi realizado, medindo-se a altura de uma peça de vidro (flange), utilizando-se um paquímetro digital de precisão 0.01mm, Mitutoyo. Foram utilizados 3 operadores e 10 amostras.

Para determinação dos resultados foram utilizadas planilhas de cálculo, desenvolvidas para os três métodos (fig.6.2, 6.3 e 6.4). Assim, é possível visualizar rapidamente os resultados. Para quem pretenda utilizar uma calculadora, é apresentado no ANEXO II, a folha de coleta de dados e cálculo devidamente preenchidos.

Com uma carta de controle para amplitude R (fig. 6.1), verificar se os dados obtidos estão sob controle, através da comparação com o limite superior de controle.

$$LSC = 2.574 * 0.038 = 0.098$$

Como nenhum ponto está acima deste limite significa que o sistema está sob controle.

Com os dados obtidos, para as três metodologias, montou-se o resumo comparativo, dado a seguir.

tabela 6.1 -resumo comparativo dos métodos

MÉTODO	PTC
CURTO	R&R = 12,97 %
LONGO	VE = 7,72 %
	VO = 5,64 %
	R&R = 9,57 %
ANÁLISE DE VARIÂNCIA	VE = 7,06 %
	VO = 4,61 %
	VI = 9,09 %
	R&R = 12,37 %

O resultado, do método de análise de variância, caiu na faixa de resultado possível de se aceitar (critério fraco). Grande parte da variação foi devida a interação, isto é, operadores tiveram maior afinidade de medir certas peças em relação à outras. Isto pode ter ocorrido, apesar de ter-se marcado na peça, o local para a medição, devido a irregularidade na borda da peça.

Para o método longo, obteve-se um resultado satisfatório. Porém, cabe salientar que a precisão deste é menor que a da análise de variância, devido a ele não ser capacitado a detectar a interação.

Para o método curto, obteve-se um resultado na faixa do possível de aceitar (critério fraco). Porém, este é o método mais fraco, por não separar as parcelas de repetitividade e reprodutividade, bem como a interação.

Vamos agora repetir o experimento, sem utilizar os dados do terceiro operador. Os cálculos são desenvolvidos pela planilha (fig. 6.5, 6.6 e 6.7) e o resultado é apresentado no quadro a seguir.

tabela 6.2 - resumo de comparações dos métodos II

MÉTODO	PTC
CURTO	R&R = 5,39 %
LONGO	VE = 8,51 %
	VO = 1,03 %
	R&R = 8,57 %
ANÁLISE DE VARIÂNCIA	VE = 7,93 %
	VO = 0.16 %
	R&R = 7,93 %

Para o método da análise de variância, o termo devido a interação desaparece e o termo devido a variação entre operadores (reprodutividade), torna-se muito pequeno. Isto pode ser explicado pela retirada dos dados do operador, que apresentava a menor média e menor amplitude média, dentre os três. Com isso, houve uma queda drástica do PTC para R&R.

Para o método longo, houve uma queda significativa para a variação entre os operadores (reprodutividade), porém o PTC para R&R variou pouco.

Com este exemplo, fica claro a preferência da aplicação do método da análise de variância, sobre os outros dois.

Como causa provável, do índice alto da repetitividade, podem citar-se, excessiva variação dentro da característica em estudo.

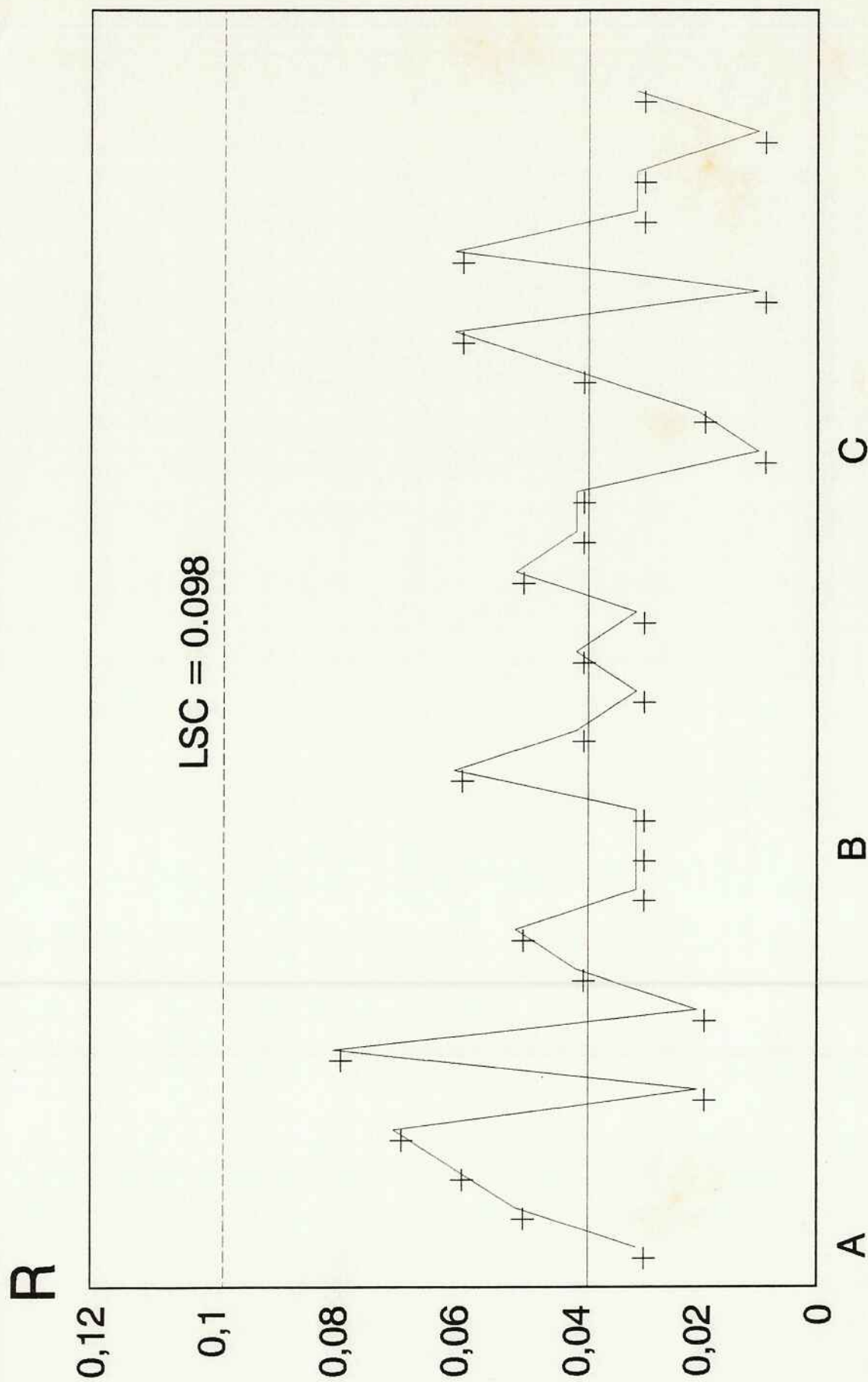


FIG. 6.1 - CARTA DE CONTROLE R
(ELABORADO PELO AUTOR)

ESTUDO DE R&R (METODO CURTO)

APARELHO : PAQUIMETRO DIGITAL No. OPERADORES: 3
 No. APARELHO : PA025L No. AMOSTRAS : 10
 DATA : 10/0594 FATOR (1/d2) : 0,581
 PECA : FLANGE
 CARACTERISTICA : ALTURA OPER. A: IVONE
 TOLERANCIA : 1,5 OPER. B: JURANDIR
 RESPONSAVEL : MARIO OPER. C: EDSON

OPER.	A	B	C	R
AMOST.				
1	60,34	60,35	60,36	0,02
2	59,88	59,87	59,82	0,06
3	60,12	60,13	60,09	0,04
4	60,33	60,35	60,42	0,09
5	59,72	59,69	59,63	0,09
6	59,91	59,90	59,88	0,03
7	59,80	59,85	59,81	0,05
8	60,06	60,05	60,00	0,06
9	59,79	59,80	59,88	0,09
10	60,03	60,06	60,03	0,03
			TOTAL	0,56

$$\bar{R} = 0,056$$

- VARIACAO DEVIDO A R&R :

$$R\&R = 0,03253$$

- PORCENTAGEM CONSUMIDA DA TOLERANCIA :

$$PTC = 11,17 \%$$

- DIRETRIZ :

- () PTC < 10 %
 (X) 10 % < PTC < 25 %
 () PTC > 25 %

FIG. 6.2 - ESTUDO, METODO CURTO
(ELABORADO PELO AUTOR)

ESTUDO R&R (METODO LONGO)

APARELHO: PAQUIMETRO DIGITAL No. OPERADORES: 3
 No. APARELHO : PA025L No. AMOSTRAS: 10
 DATA : 10/05/94 No. SERIES DE MEI 3
 PECA : FLANGE (1/d2) REPROD. 0,592
 CARACTERISTICA: ALTURA (1/d2) REPET. 0,524
 TOLERANCIA: 1,5
 RESPONSAVEL: MARIO

OPER.	A: IVONE				B: JURANDIR				C: EDSON			
AMOST.	SER. 1	SER.2	SER.3	R	SER. 1	SER.2	SER.3	R	SER. 1	SER.2	SER.3	R
1	60,34	60,37	60,36	0,03	60,35	60,38	60,36	0,03	60,36	60,35	60,35	0,01
2	59,88	59,9	59,93	0,05	59,87	59,9	59,89	0,03	59,82	59,83	59,81	0,02
3	60,12	60,18	60,15	0,06	60,13	60,07	60,1	0,06	60,09	60,12	60,08	0,04
4	60,33	60,4	60,38	0,07	60,35	60,32	60,36	0,04	60,42	60,37	60,36	0,06
5	59,72	59,7	59,7	0,02	59,69	59,72	59,69	0,03	59,63	59,64	59,64	0,01
6	59,91	59,91	59,99	0,08	59,9	59,93	59,89	0,04	59,88	59,83	59,82	0,06
7	59,8	59,82	59,82	0,02	59,85	59,83	59,82	0,03	59,81	59,82	59,84	0,03
8	60,06	60,1	60,09	0,04	60,05	60,06	60,1	0,05	60	60	60,03	0,03
9	59,79	59,81	59,84	0,05	59,8	59,84	59,82	0,04	59,88	59,87	59,87	0,01
10	60,03	60,04	60,06	0,03	60,06	60,1	60,07	0,04	60,03	60,01	60	0,03
TOTAL	599,98	600,23	600,32	0,45	600,05	600,15	600,1	0,39	599,92	599,84	599,8	0,3

AMPLITUDES DAS MEDIAS

$\bar{X}_A = 60,0176$
 $\bar{X}_B = 60,01$
 $\bar{X}_C = 59,9853$
 $\bar{X}_{dif} = 0,03233$

MEDIA DAS AMPLITUDES

$\bar{R}_A = 0,045$
 $\bar{R}_B = 0,039$
 $\bar{R}_C = 0,03$
 $\bar{R} = 0,038$

VARIACAO DAS PARCELAS

$VE = 0,11585$
 $VO = 0,08465$
 $R\&R = 0,14348$

PORCENTAGEM CONSUMIDA DA TOLERANCIA

$PTCe = 7,72 \%$
 $PTCo = 5,64 \%$
 $PTC = 9,57 \%$

DIRETRIZ :

(X) PTC < 10% APROVADO - CRITERIO FORTE
 () 10% < PTC < 25% APROVADO - CRITERIO FRACO
 () PTC > 25% REJEITADO

FIG. 6.3 - ESTUDO, METODO LONGO
 (ELABORADO PELO AUTOR)

ESTUDO R&R (METODO ANALISE DE VARIANCIAS)

APAREL.: PAQUIMETRO DIGITAL No. OPER. 3
 No. APAR.: PA025L No. AMOS 10
 DATA: 10/05/94 SER. MED. 3
 PECA: FLANGE G(5%) P/ 3 20 = 0,5358
 CARACT.: ALTURA F(5%) P/ 18 60 = 1,79
 TOL.: 1,5
 RESPONS MARIO

AMOST.	OPER. SER. MED.	IVONE		JURANDIR		EDSON		TJ	QJ	TJ^2
		X	X^2	X	X^2	X	X^2			
1	1	60,34	3640,915	60,35	3642,122	60,36	3643,329	543,22	32787,55	295087,9
	2	60,37	3644,536	60,38	3645,744	60,35	3642,122			
	3	60,36	3643,329	60,36	3643,329	60,35	3642,122			
2	1	59,88	3585,614	59,87	3584,416	59,82	3578,432	538,83	32259,76	290337,7
	2	59,9	3588,01	59,9	3588,01	59,83	3579,628			
	3	59,93	3591,604	59,89	3586,812	59,81	3577,236			
3	1	60,12	3614,414	60,13	3615,616	60,09	3610,808	541,04	32524,93	292724,2
	2	60,18	3621,632	60,07	3608,404	60,12	3614,414			
	3	60,15	3618,022	60,1	3612,01	60,08	3609,608			
4	1	60,33	3639,708	60,35	3642,122	60,42	3650,576	543,29	32796,01	295164,0
	2	60,4	3648,16	60,32	3638,502	60,37	3644,536			
	3	60,38	3645,744	60,36	3643,329	60,36	3643,329			
5	1	59,72	3566,478	59,69	3562,896	59,63	3555,736	537,13	32056,52	288508,6
	2	59,7	3564,09	59,72	3566,478	59,64	3556,929			
	3	59,7	3564,09	59,69	3562,896	59,64	3556,929			
6	1	59,91	3589,208	59,9	3588,01	59,88	3585,614	539,01	32281,32	290531,7
	2	59,91	3589,208	59,93	3591,604	59,83	3579,628			
	3	59,94	3592,803	59,89	3586,812	59,82	3578,432			
7	1	59,8	3576,04	59,85	3582,022	59,81	3577,236	538,41	32209,48	289885,3
	2	59,82	3578,432	59,83	3579,628	59,82	3578,432			
	3	59,82	3578,432	59,82	3578,432	59,84	3580,825			
8	1	60,06	3607,203	60,05	3606,002	60	3600	540,49	32458,83	292129,4
	2	60,1	3612,01	60,06	3607,203	60	3600			
	3	60,09	3610,808	60,1	3612,01	60,03	3603,600			
9	1	59,79	3574,844	59,8	3576,04	59,88	3585,614	538,52	32222,65	290003,7
	2	59,81	3577,236	59,84	3580,825	59,87	3584,416			
	3	59,84	3580,825	59,82	3578,432	59,87	3584,416			
10	1	60,03	3603,600	60,06	3607,203	60,03	3603,600	540,4	32448,02	292032,1
	2	60,04	3604,801	60,1	3612,01	60,01	3601,200			
	3	60,06	3607,203	60,07	3608,404	60	3600			
	TI	1800,48		1800,3		1799,56		5400,34		2916405,
	QI		108059,0		108037,3		107948,7		324045,1	
	TI^2	3241728,		3241080,		3238416,		9721224,		

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCA

FONTE	SOMA DE QUADRAD	G. DE LIBERD.	QUADRAD MED.(MQ)	STATUS QUANTO A INTERACAO
AMOST	4,2186	9	0,4687	HA INTERACAO
OPERAD.	0,0158	2	0,0079	
INTER.	0,0451	18	0,0025	
TRATAM.	4,2795	29	0,1476	
EQUIPAM.	0,0254	60	0,0004	
TOTAL	4,3049	89	0,0484	

VARIANCIAS

OPER A 0,00047
 OPER B 0,000406
 OPER C 0,000343

 G(OBS)= 0,385245
 G(5%) = 0,5358

PARCELAS DA VARIACAO

VO= 0,0692
 VE= 0,1060
 VI= 0,1357
 R&R= 0,1856

PORCENTAGEM CONSUMIDA PELA TOLERANCIA

PTCo= 4,61 %
 PTCe= 7,06 %
 PTCi= 9,05 %
 PTC= 12,37 %

DIRETRIZ:

() PTC < 10 % APROVADO - CRITERIO FORTE
 (X) 10 % < PTC < 25% APROVADO - CRITERIO FRACO
 () PTC > 25% REJEITADO

ESTUDO DE R&R (METODO CURTO)

APARELHO : PAQUIMETRO DIGITAL No. OPERADORES: 2
 No. APARELHO : PA025L No. AMOSTRAS : 10
 DATA : 10/0594 FATOR (1/d2) : 0,581
 PECA : FLANGE
 CARACTERISTICA : ALTURA OPER. A: IVONE
 TOLERANCIA : 1,5 OPER. B: JURANDIR
 RESPONSVEL : MARIO OPER. C:

OPER.	A	B	C	R
AMOST.				
1	60,34	60,35		0,01
2	59,88	59,87		0,01
3	60,12	60,13		0,01
4	60,33	60,35		0,02
5	59,72	59,69		0,03
6	59,91	59,90		0,01
7	59,80	59,85		0,05
8	60,06	60,05		0,01
9	59,79	59,80		0,01
10	60,03	60,06		0,03
TOTAL				0,19

$$\bar{R} = 0,019$$

- VARIACAO DEVIDO A R&R :

$$R\&R = 0,01103$$

- PORCENTAGEM CONSUMIDA DA TOLERANCIA :

$$PTC = 3,79 \%$$

- DIRETRIZ :

- (X) PTC < 10 %
- () 10 % < PTC < 25 %
- () PTC > 25 %

FIG. 6.5 – ESTUDO, METODO CURTO 2
(ELABORADO PELO AUTOR)

ESTUDO R&R (METODO LONGO)

APARELHO: PAQUIMETRO DIGITAL
 No. APARELHO: PA025L
 DATA: 10/05/94
 PEÇA: FLANGE
 CARACTERISTICA: ALTURA
 TOLERANCIA: 1,5
 RESPONSÁVEL: MARIO

No. OPERADORES: 2
 No. AMOSTRAS: 10
 No. DE REPET.: 3
 (1/d2) REPROD. 0,885
 (1/d2) REPET. 0,709

OPER.	A: IVONE				B: JURANDIR				C:			
AMOST.	SER. 1	SER. 2	SER. 3	R	SER. 1	SER. 2	SER. 3	R	SER. 1	SER. 2	SER. 3	R
1	60,34	60,37	60,36	0,03	60,35	60,38	60,36	0,03				0
2	59,88	59,9	59,93	0,05	59,87	59,9	59,89	0,03				0
3	60,12	60,18	60,15	0,06	60,13	60,07	60,1	0,06				0
4	60,33	60,4	60,38	0,07	60,35	60,32	60,36	0,04				0
5	59,72	59,7	59,7	0,02	59,69	59,72	59,69	0,03				0
6	59,91	59,91	59,99	0,08	59,9	59,93	59,89	0,04				0
7	59,8	59,82	59,82	0,02	59,85	59,83	59,82	0,03				0
8	60,06	60,1	60,09	0,04	60,05	60,06	60,1	0,05				0
9	59,79	59,81	59,84	0,05	59,8	59,84	59,82	0,04				0
10	60,03	60,04	60,06	0,03	60,06	60,1	60,07	0,04				0
TOTAL	599,98	600,23	600,32	0,45	600,05	600,15	600,1	0,39	0	0	0	0

AMPLITUDES DAS MEDIAS

$\bar{X}_A = 60,0176$
 $\bar{X}_B = 60,01$
 $\bar{X}_C = 0$
 $\bar{X}_{dif} = 0,00766$

MEDIA DAS AMPLITUDES

$\bar{R}_A = 0,045$
 $\bar{R}_B = 0,039$
 $\bar{R}_C = 0$
 $\bar{R} = 0,028$

VARIACAO DAS PARCELAS

$VE = 0,12761$
 $VO = 0,01551$
 $R\&R = 0,12855$

PORCENTAGEM CONSUMIDA DA TOLERANCIA

$PTC_e = 8,51 \%$
 $PTC_o = 1,03 \%$
 $PTC = 8,57 \%$

DIRETRIZ:

(X) $PTC < 10\%$ APROVADO - CRITERIO FORTE
 () $10\% < PTC < 25\%$ APROVADO - CRITERIO FRACO
 () $PTC > 25\%$ REJEITADO

FIG. 6.6 - ESTUDO, METODO LONGO 2
 (ELABORADO PELO AUTOR)

ESTUDO R&R (METODO ANALISE DE VARIANCIAS)

APAREL.: PAQUIMETRO DIGITAL
No. APAR.: PA025L
DATA: 10/05/94
PECA: FLANGE
CARACT.: ALTURA
TOL.: 1,5

No. OPER.: 2
No. AMOST: 10
SER. MED.: 3
G(5%) P/ 2 20 = 0,723
F(5%) P/ 9 40 = 2,12
RESPONS.: MARIO

AMOST.	OPER. SER. ME	IVONE		JURANDIR		EDSON		TJ	QJ	TJ ²
		X	X ²	X	X ²	X	X ²			
1	1	60,34	3640,9156	60,35	3642,1225		0	362,16	21859,978	131159,8656
	2	60,37	3644,5369	60,38	3645,7444		0			
	3	60,36	3643,3296	60,36	3643,3296		0			
2	1	59,88	3585,6144	59,87	3584,4169		0	359,37	21524,468	129146,7969
	2	59,9	3588,01	59,9	3588,01		0			
	3	59,93	3591,6049	59,89	3586,8121		0			
3	1	60,12	3614,4144	60,13	3615,6169		0	360,75	21690,101	130140,5625
	2	60,18	3621,6324	60,07	3608,4049		0			
	3	60,15	3618,0225	60,1	3612,01		0			
4	1	60,33	3639,7089	60,35	3642,1225		0	362,14	21857,567	131145,3796
	2	60,4	3648,16	60,32	3638,5024		0			
	3	60,38	3645,7444	60,36	3643,3296		0			
5	1	59,72	3566,4784	59,69	3562,8961		0	358,22	21386,929	128321,5684
	2	59,7	3564,09	59,72	3566,4784		0			
	3	59,7	3564,09	59,69	3562,8961		0			
6	1	59,91	3589,2081	59,9	3588,01		0	359,48	21537,646	129225,8704
	2	59,91	3589,2081	59,93	3591,6049		0			
	3	59,94	3592,8036	59,89	3586,8121		0			
7	1	59,8	3576,04	59,85	3582,0225		0	358,94	21472,988	128837,9236
	2	59,82	3578,4324	59,83	3579,6289		0			
	3	59,82	3578,4324	59,82	3578,4324		0			
8	1	60,06	3607,2036	60,05	3606,0025		0	360,46	21655,237	129931,4116
	2	60,1	3612,01	60,06	3607,2036		0			
	3	60,09	3610,8081	60,1	3612,01		0			
9	1	59,79	3574,8441	59,8	3576,04		0	358,9	21468,203	128809,21
	2	59,81	3577,2361	59,84	3580,8256		0			
	3	59,84	3580,8256	59,82	3578,4324		0			
10	1	60,03	3603,6009	60,06	3607,2036		0	360,36	21643,224	129859,3296
	2	60,04	3604,8016	60,1	3612,01		0			
	3	60,06	3607,2036	60,07	3608,4049		0			
	TI	1800,48		1800,3		0		3600,78		1296577,9182
	QI		108059,01		108037,33		0		216096,34	
	TI ²	3241728,2		3241080,0		0		6482808,3		

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCA

FONTE	SOMA D.G. DE QUADRA/LIBERD.	QUADRAD MED.(MQ)	STATUS QUANTO A INTERACAO
AMOST	2,7096	9	0,3011
OPERAD.	0,0005	1	0,0005
			NAO HA INTERACAO
EQUIPAM.	0,0262	49	0,0005
TOTAL	2,7363	59	0,0464

VARIANCIAS

OPER A 0,0032888
OPER B 0,0028666
OPER C
G(OBS)= 0,5342960
G(5%) = 0,723

PARCELAS DA VARIACAO

VO= 0,0023
VE= 0,1190
R&R= 0,1190

PORCENTAGEM CONSUMIDA PELA TOLERANCIA

PTCo= 0,16 %
PTCe= 7,93 %
PTCi= 0,00 %
PTC= 7,93 %

DIRETRIZ:

(X) PTC < 10 % APROVADO - CRITERIO FORTE
() 10 % < PTC < 25% APROVADO - CRITERIO FRACO
() PTC > 25% REJEITADO

6.2. - EXATIDÃO

Iremos estudar a exatidão do sistema utilizado para o estudo R&R. Para isso, fez-se três medições de cada amostra, utilizando-se um instrumento de maior precisão em um ambiente com condições mais controladas. O instrumento utilizado foi um TRIMOS, de precisão 0.001 mm.

Para cada amostra foi calculada a média e os valores de referência foram dispostos abaixo:

amost	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{x}$	60.34	59.90	60.03	60.34	59.72	59.89	59.81	60.13	59.76	60.07

A média das amostras é $\bar{x}_M = 60,00$.

Para calcular-se a exatidão de cada operador do sistema deve-se subtrair a sua média observada da média dos valores de referência. Deste modo temos:

OPERADOR A : EXATIDÃO = $|60,00 - 60,02| = 0,02$

OPERADOR B : EXATIDÃO = $|60,00 - 60,01| = 0,01$

OPERADOR C : EXATIDÃO = $60,00 - 59,99 = 0,01$

Em porcentagem consumida da tolerância, temos:

$$\text{OPERADOR A : } \text{PTCa} = (0,02 / 1,5) * 100 = 1,33 \%$$

$$\text{OPERADOR B : } \text{PTCb} = (0,01 / 1,5) * 100 = 0,67 \%$$

$$\text{OPERADOR C : } \text{PTCc} = (0,01 / 1,5) * 100 = 0,67 \%$$

Observa-se que o sistema apresenta um valor baixo para a EXATIDÃO, tendo ela pouca influência no total da tolerância.

6.3. LINEARIDADE

Utilizando cinco amostras dentro do limite de operação do instrumento do estudo R&R, um operador fez cinco séries de medições. Com um instrumento de maior precisão, foi realizada uma de medição de cada peça.

Os dados obtidos são apresentados abaixo:

tabela 6.3 - dados para estudo da linearidade

amostra	1	2	3	4	5
val. ref.	46,01	60,21	64,19	68,39	82,63
1	45,97	60,19	64,20	68,35	82,59
2	45,99	60,18	64,18	68,37	82,57
3	45,99	60,19	64,17	68,37	82,61
4	46,00	60,18	64,17	68,40	82,57
5	45,99	60,20	64,16	68,39	82,62
média	45,99	60,19	64,18	68,38	82,60
EXATIDÃO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03

Com o auxílio de uma planilha (fig 6.8), foram obtidos os seguintes dados:

$$Y = 6.8E-06 * X + 0.01957$$

$$\text{LINEARIDADE} = 1E-05$$

$$\% \text{ LINEAR.} = 0.0007\%$$

Observa-se que o valor da linearidade é muito pequena, não influenciando sobre a tolerância.

ESTUDO DA LINEARIDADE

APAR.: PAQUIMETRO DIGITAL

No.AP: PA025L

AMOSTRAS: 5 TOLER.: 1,5

SER MEDICOES.: 5

AMOST.	1	2	3	4	5	TOT
V.R.	46,01	60,21	64,19	68,39	82,63	321,43
V.R.^2	2116,92	3625,24	4120,36	4677,19	6827,72	21367,4
1	45,98	60,19	64,2	68,35	82,59	
2	45,97	60,18	64,18	68,37	82,57	
3	45,99	60,19	64,17	68,37	82,61	
4	45,99	60,18	64,17	68,4	82,63	
5	46	60,2	64,16	68,39	82,62	
MEDIA	45,99	60,19	64,18	68,38	82,60	
EXATID.	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,1
EXAT^2	0,0006	0,0005	0,0002	0,0002	0,0007	0,00212
M X E	1,1042	1,3246	0,8987	0,9575	2,1484	6,43336

$$y = a \cdot x + b \quad , \text{ onde :}$$

x = valor de referencia

y = exatidao

a = coef. de regressao

$$a = 0,00000$$

$$b = 0,01956$$

$$R^2 = 0,00025$$

$$y = 0,00000 \cdot x + 0,01956$$

$$\text{LINEARIDADE} = 0,00001$$

$$\% \text{ LINEARID.} = 0,0007 \%$$

FIG. 6.8 – ESTUDO DA LINEARIDADE
(ELABORADO PELO AUTOR)

6.4. ESTABILIDADE¹³

Para o estudo da estabilidade, acompanhou-se a leitura realizada em 5 flanges, na sua altura, feitas um vez por semana, durante um período de tempo. As peças utilizadas, sempre foram as mesmas.

O resultado é apresentado nas cartas de controle X-bar e R. (fig. 6.9)

Verifica-se, através das cartas de controle, que a média ficou dentro dos limites de controle e não há tendências, indicando que o sistema de medição está sob controle. Frente a esses resultados, é possível se afirmar que o instrumento de medição não necessita de validação imediata.

¹³estudo simulado

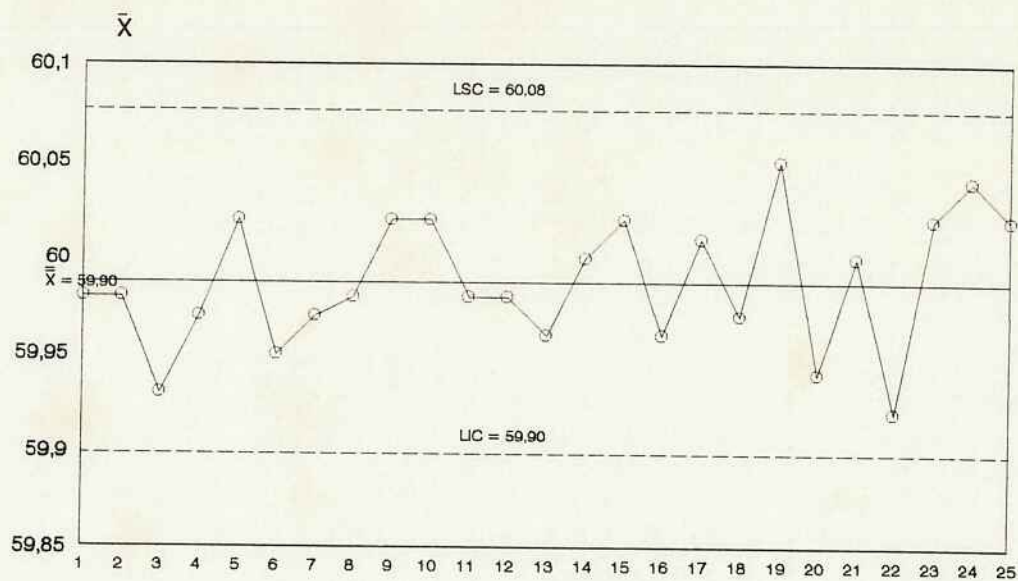


FIG. 6.9.A - CARTA DE CONTROLE $\bar{X}$ - BAR

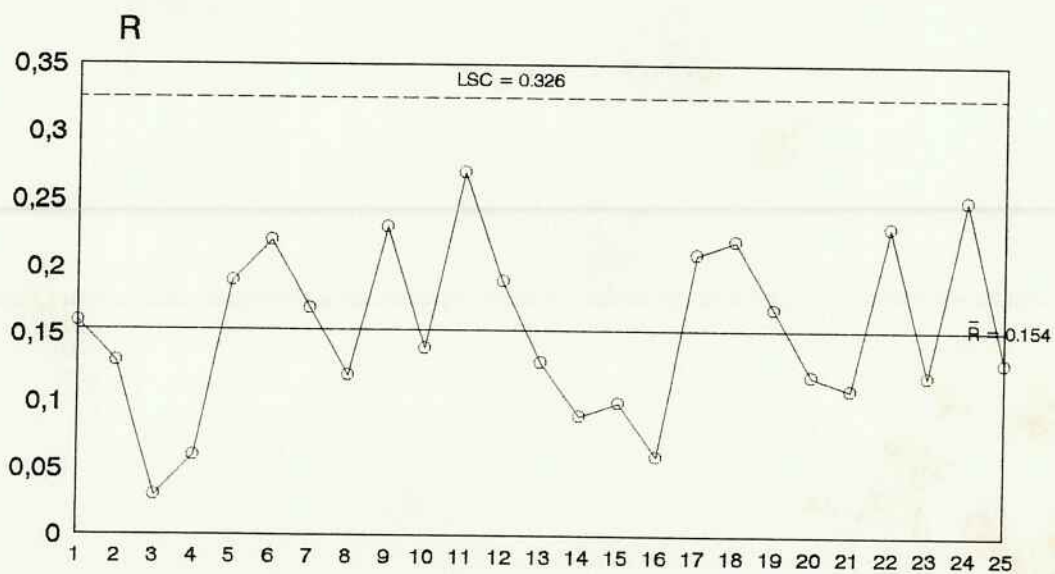


FIG. 6.9.B - CARTA DE CONTROLE R

6.5. COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

O experimento foi realizado medindo-se a altura da flange, utilizando dois sistemas diferentes:

-sistema 1: controladores da qualidade utilizando paquímetro digital de precisão 0.01 mm

-sistema 2: operadores da máquina de flanges utilizando paquímetro analógico de precisão 0.02 mm.

tabela 6.4 - amplitudes dos dois sistemas

sist	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.05	0.01	0.01	0.03
2	0.04	0.04	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.06	0.00

Para verificar se os sistemas estão sob controle, compararemos o LSC com as amplitudes.

$$\text{LSC} = 0.027 * 3.268 = 0.09$$

Como não há ponto fora, podemos continuar o estudo.

Utilizando-se de uma planilha de cálculo (fig. 6.10), obtivemos os seguintes resultados, a um nível de 5%:

-há diferenças entre as médias dos dois sistemas.

-não há diferença entre as precisões dos dois sistemas.

Observa-se que, em média, o sistema digital apresenta um resultado 0,07 mm maior que o analógico. Observando as leituras obtidas nos dois sistemas, a que possui menor exatidão, isto é, a que se aproxima melhor do valor de referência, é a

digital. Portanto, deve-se fazer uma verificação do paquímetro analógico frente a padrões de referência.

COMPARACAO ENTRE SISTEMAS DE MEDICAO

data: 12/05/94 no. sist : 2 F(5%) p/ 10 20 = 2,35
 respons.: Mario no. op/sist : 2 G(5%) p/ 2 10 = 0,801
 peca: flange no. amost. : 10
 caract.: altura

SISTEMA 1 SISTEMA 2
 oper 1 : Ivone Antonio
 oper 2 : Jurandir Jose
 apar. : paquímetro digital paquímetro analogico
 no. apar. : PA025I PA022I

amostra	oper 1	oper 2	total 1	oper 1	oper 2	total 2	tot. entre sistemas
1	60,34	60,35	120,69	60,32	60,28	120,6	241,29
2	59,88	59,87	119,75	59,78	59,82	119,6	239,35
3	60,12	60,13	120,25	60,04	60,06	120,1	240,35
4	60,33	60,35	120,68	60,24	60,26	120,5	241,18
5	59,72	59,69	119,41	59,58	59,64	119,22	238,63
6	59,91	59,9	119,81	59,82	59,84	119,66	239,47
7	59,8	59,85	119,65	59,78	59,76	119,54	239,19
8	60,06	60,05	120,11	60,02	60	120,02	240,13
9	59,79	59,8	119,59	59,7	59,76	119,46	239,05
10	60,03	60,06	120,09	60	60	120	240,09

quadro de analise de variancia

fonte	soma dos quad.	graus de liberd.	quadrado medio	F(obs)
entre amostras	1,7954	9	0,1995	
entre sistemas dentro das amostras	0,0473	10	0,0047	10,69
entre operad. dentro dos sistemas	0,0088	20	0,0004	
total	1,8516			

Variancias

sistema 1 = 0,0003
 sistema 2 = 0,0006
 G(obs) = 0,7006

F(obs) > F(5%)
 G(obs) < G(5%)

- AO NIVEL DE 5 %, PODE-SE AFIRMAR QUE :

EXISTE DIFERENCA DE MEDIAS ENTRE SISTEMAS
 NAO EXISTE DIFERENCA DE PRECISOES ENTRE SISTEMAS

FIG. 6.10 - ESTUDO, COMPARACAO ENTRE SISTEMAS DE MEDICAO
 (ELABORADO PELO AUTOR)

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

Este trabalho demonstra a importância da avaliação dos sistemas de medição, bem como seu gerenciamento.

Quanto menor o erro gerado pelo sistema de medição, melhor a confiabilidade do dado obtido.

Como nem sempre pode-se ter esse erro nulo, é importante que se tenha como quantificar e controlá-lo. Com os procedimentos, planilhas de cálculos e sistema de gerenciamento é possível manter-se um programa de avaliação dos sistemas de medição.

Dos métodos para estudo R&R, o autor aconselha a utilização da análise de variância, devido à sua maior capacidade de fornecer resultados (tab.3.1 e item 6.1 do capítulo 6).

Com a aplicação dos procedimentos, pretende-se que o erro gerado pelo sistema de medição esteja controlado, fornecendo medidas confiáveis para outros tipos de estudos (implantação de CEP, por exemplo)

Outro estudo interessante é a comparação de sistemas de medição. Foi utilizada para isso, uma forma derivada da análise de variância. (forma hierarquizada).

Com ele é possível verificar a igualdade entre dois sistemas, que podem ter relação de fornecedor e cliente. Assim, pode haver uma compatibilização dos resultados das medidas de uma mesma amostra.

ANEXOS

ANEXO I - TABELAS ESTATÍSTICAS

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO NORMAL

z_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2703	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3,0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990
3,1	0,4990	0,4991	0,4991	0,4991	0,4992	0,4992	0,4992	0,4992	0,4993	0,4993
3,2	0,4993	0,4993	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4995	0,4995	0,4995
3,3	0,4995	0,4995	0,4995	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4997
3,4	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4998
3,5	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998
3,6	0,4998	0,4998	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,7	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,8	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,9	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000

ANEXO I - TABELAS ESTATÍSTICAS

TABELA 2 - F DE SNEDECOR $P = 0.05$

$\nu_2 \backslash \nu_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,15	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,00	2,04	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,81	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,29
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,45	1,39	1,32	1,22	1,00

ANEXO I - TABELAS ESTATÍSTICAS

TABELA 3 - VALORES CRÍTICOS PARA O TESTE DE COCHRAN

 $P = 0,05$

$k \backslash n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	17	37	145	∞
2	0,9985	0,9750	0,9392	0,9057	0,8772	0,8534	0,8332	0,8159	0,8010	0,7880	0,7341	0,6602	0,5813	0,5000
3	0,9669	0,8709	0,7977	0,7457	0,7071	0,6771	0,6530	0,6333	0,6167	0,6025	0,5466	0,4748	0,4031	0,3333
4	0,9065	0,7679	0,6841	0,6287	0,5895	0,5598	0,5365	0,5175	0,5017	0,4884	0,4366	0,3720	0,3093	0,2500
5	0,8412	0,6838	0,5931	0,5441	0,5065	0,4783	0,4564	0,4387	0,4241	0,4118	0,3645	0,3066	0,2513	0,2000
6	0,7808	0,6161	0,5321	0,4803	0,4447	0,4184	0,3980	0,3817	0,3682	0,3568	0,3135	0,2612	0,2119	0,1667
7	0,7271	0,5612	0,4800	0,4307	0,3974	0,3726	0,3535	0,3384	0,3259	0,3154	0,2756	0,2278	0,1833	0,1429
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595	0,3362	0,3185	0,3043	0,2926	0,2829	0,2462	0,2022	0,1616	0,1250
9	0,6385	0,4775	0,4027	0,3584	0,3286	0,3067	0,2901	0,2768	0,2659	0,2568	0,2226	0,1820	0,1446	0,1111
10	0,6020	0,4450	0,3733	0,3311	0,3029	0,2823	0,2666	0,2541	0,2439	0,2353	0,2032	0,1655	0,1308	0,1000
12	0,5410	0,3924	0,3264	0,2880	0,2624	0,2439	0,2299	0,2187	0,2098	0,2020	0,1737	0,1403	0,1100	0,0833
15	0,4709	0,3346	0,2758	0,2419	0,2195	0,2034	0,1911	0,1815	0,1736	0,1671	0,1429	0,1144	0,0889	0,0667
20	0,3894	0,2705	0,2205	0,1921	0,1735	0,1602	0,1501	0,1422	0,1357	0,1303	0,1108	0,0879	0,0675	0,0500
24	0,3434	0,2354	0,1907	0,1656	0,1493	0,1374	0,1286	0,1216	0,1160	0,1113	0,0942	0,0743	0,0567	0,0417
30	0,2929	0,1980	0,1593	0,1377	0,1237	0,1137	0,1061	0,1002	0,0958	0,0921	0,0771	0,0604	0,0457	0,0333
40	0,2370	0,1576	0,1259	0,1082	0,0968	0,0887	0,0827	0,0780	0,0745	0,0713	0,0595	0,0462	0,0347	0,0250
60	0,1737	0,1131	0,0895	0,0765	0,0682	0,0623	0,0583	0,0552	0,0520	0,0497	0,0411	0,0316	0,0234	0,0167
120	0,0998	0,0632	0,0495	0,0419	0,0371	0,0337	0,0312	0,0292	0,0279	0,0266	0,0218	0,0165	0,0120	0,0083
∞	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO I - TABELAS ESTATÍSTICAS

TABELA 4 - FATOR DE CÁLCULO DO DESVIO-PADRÃO

	m														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
g	1	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18	3.27	3.35	3.42	3.49	3.55
	2	1.28	1.81	2.15	2.40	2.60	2.77	2.91	3.02	3.13	3.22	3.30	3.38	3.45	3.51
	3	1.23	1.77	2.12	2.38	2.58	2.75	2.89	3.01	3.11	3.21	3.29	3.37	3.43	3.50
	4	1.21	1.75	2.11	2.37	2.57	2.74	2.88	3.00	3.10	3.20	3.28	3.36	3.43	3.49
	5	1.19	1.74	2.10	2.36	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.28	3.35	3.42	3.49
	6	1.18	1.73	2.09	2.35	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.28	3.35	3.42	3.49
	7	1.17	1.73	2.09	2.35	2.55	2.72	2.87	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42	3.49
	8	1.17	1.72	2.08	2.35	2.55	2.72	2.87	2.98	3.09	3.19	3.27	3.35	3.42	3.48
	9	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.35	3.42	3.48
	10	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.42	3.48
	11	1.16	1.71	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	12	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.72	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	13	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.71	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	14	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	15	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.26	3.34	3.41	3.48
> 15	1.128		2.059		2.534		2.847		3.078		3.258		3.407		
		1.693		2.326		2.704		2.970		3.173		3.336		3.472	

Valores de d_2 para g maior que 15, são mencionados como d_2^* .

ANEXO I - TABELAS ESTATÍSTICAS

TABELA 5 - FATORES PARA CARTA DE CONTROLE

n	A ₂	D ₃	D ₄
2	1.880	--	3.268
3	1.023	--	2.574
4	0.729	--	2.282
5	0.577	--	2.114
6	0.483	--	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$CL_R = \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

And for $n > 10$:

$$A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$$

$$D_3 = \left[1 - \frac{3 d_3}{d_2} \right]$$

$$D_4 = \left[1 + \frac{3 d_3}{d_2} \right]$$

ANEXO II - UTILIZAÇÃO DAS FOLHAS DE COLETA DE DADOS E CÁLCULO

- Método curto
- Método longo
- Método da análise de variância
- comparação entre sistemas de medição

APARELHO TIPO: Paquímetro digital

PEÇA: Flange

RESPONSÁVEL: Mário

No. APARELHO: PA025L

CARACTERÍSTICA: altura

DATA: 10/05/94

TOLERÂNCIA: 1,5 mm

AMOSTRAS	OPERADORES			AMPLITUDE (R)
	A: Ivone	B: Jurandir	C: Edson	
1	60,34	60,35	60,36	0,02
2	59,88	59,87	59,82	0,06
3	60,12	60,13	60,09	0,04
4	60,33	60,35	60,42	0,09
5	59,72	59,69	59,63	0,09
6	59,91	59,90	59,88	0,03
7	59,80	59,85	59,81	0,05
8	60,06	60,05	60,00	0,06
9	59,79	59,80	59,88	0,09
10	60,03	60,06	60,03	0,03
SOMA DAS AMPLITUDES				0,56
$\bar{R}$				0,056

$$R\&R = 5,15 * (1 / d_2) * \bar{R}$$

$$R\&R = 5,15 * (0,581) * (0,056)$$

$$R\&R = (0,0325) * 5,15 = 0,1676$$

d_2 p/ m operadores e g = 1

PORCENTAGEM TOLERÂNCIA CONSUMIDA:

$$PTC = (R\&R / TOL.) * 100$$

$$PTC = ((0,1676) / (1,5)) * 100$$

$$PTC = (11,17)\%$$

DIRETRIZ:

SISTEMA É ACEITÁVEL CASO:

☐ PTC < 10% CRITÉRIO FORTE

☒ 10% < PTC < 25% CRITÉRIO FRACO

REJEITAR O SISTEMA CASO:

☐ PTC > 25%

FIG. 3.4 - FOLHA DE COLETA DE DADOS E CÁLCULO, MÉTODO CURTO

(ADAPTADO DA REF. 10)

APARELHO TIPO: Paquímetro digital

PECA: Flange

RESPONSÁVEL: Mario

No. APARELHO: PA025L

CARACTERISTICA: affronda

DATA: 10,05,94

TOLERANCIA: 1,5 mm

OPERADOR	A: Ivone				B: Jurandir				C: Edson			
AMOSTRA	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	R	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	R	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	R
1	60,34	60,37	60,36	0,03	60,35	60,38	60,36	0,03	60,36	60,35	60,35	0,01
2	59,88	59,90	59,93	0,05	59,87	59,90	59,89	0,03	59,82	59,83	59,81	0,02
3	60,12	60,18	60,15	0,06	60,13	60,17	60,11	0,06	60,09	60,12	60,08	0,04
4	60,33	60,40	60,38	0,07	60,35	60,32	60,36	0,04	60,42	60,37	60,36	0,06
5	59,72	59,70	59,7	0,02	59,69	59,72	59,69	0,03	59,63	59,64	59,64	0,01
6	59,91	59,91	59,99	0,08	59,90	59,93	59,89	0,04	59,88	59,83	59,82	0,02
7	59,80	59,82	59,82	0,02	59,85	59,83	59,82	0,03	59,81	59,82	59,84	0,03
8	60,06	60,10	60,09	0,04	60,05	60,06	60,10	0,05	60,00	60,00	60,03	0,03
9	59,79	59,81	59,84	0,05	59,8	59,84	59,82	0,04	59,88	59,87	59,87	0,01
10	60,03	60,04	60,06	0,03	60,06	60,10	60,07	0,04	60,03	60,01	60,00	0,03
TOTAL	599,98	600,23	600,32	0,45	600,05	600,15	600,10	0,39	599,92	599,89	599,80	0,3
		599,98		$\bar{R}_A$		600,05		$\bar{R}_B$		599,92		$\bar{R}_C$
		600,32				600,10				599,80		
	SOMA	1800,53			SOMA	1800,30			SOMA	1799,69		
	$\bar{x}_A$	60,018			$\bar{x}_B$	60,01			$\bar{x}_C$	59,985		

$\bar{R}_A$	$\bar{R}_B$	$\bar{R}_C$	$\bar{R}$
0,045	0,039	0,03	0,038

$\bar{X}_{MAX}$	$\bar{X}_{MIN}$	$\bar{X}_{DIF}$
60,018	59,985	0,032

SERIES	2	3
D ₄	3,27	2,58

FIG. 3.5.A FOLHA DE COLETA DE DADOS, METODO LONGO (ADAPTADO DA REF 10)

$$\text{LSC} = D_4^*$$

$$\text{LSC} = 2,58 * 0,036$$

$$LSC = 0.098$$

REPETITIVIDADE:		PORCENT. CONSUM. DA TOLER.	
$VE = 5,15 * \bar{R} * (1 / d_2)$ $VE = 5,15 * (0,038) * (0,524)$ $VE = (0,1159)$	d_2 - Para m series de medicoes e g amostras X operadores	$PTC_E = (VE / TOL) * 100$ $PTC_E = ((0,1159) / (1,5)) * 100$ $PTC_E = (7,73) \%$	
REPRODUTIVIDADE: $VO = \sqrt{(5,15 * (\bar{X}_{DIF} * (1 / d_2))^2 - (VE^2 / qr)}$ $VO = \sqrt{(5,15 * ((0,032) * (0,592))^2 - ((0,1159)^2 / ((10) * (3)))}$ $VO = (0,0847)$ - Caso o valor da raiz seja 0, entao VO=0.		$PTC_O = (VO / TOL) * 100$ $PTC_O = ((0,0847) / (1,5)) * 100$ $PTC_O = (5,65) \%$	
REPETITIVIDADE & REPRODUTIVIDADE: $R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2}$ $R\&R = \sqrt{(0,1159)^2 + (0,0847)^2}$ $R\&R = (0,1436)$		$PTC = (R\&R / TOL) * 100$ $PTC = ((0,1436) / (1,5)) * 100$ $PTC = (9,57) \%$	
DIRETRIZ: SISTEMA E' ACEITAVEL CASO: ☒ $PTC < 10\%$ CRITERIO FORTE ☐ $10\% < PTC < 25\%$ CRITERIO FRACO REJEITAR O SISTEMA CASO: ☐ $PTC > 25\%$			

FIG. 3.5.B - FOLHA DE CALCULO, METODO LONGO
(ELABORADO PELO AUTOR)

APARELHO TIPO: Paquímetro Digital

PEÇA: Flange

RESPONSÁVEL: Mário

No. APARELHO: PA025L

CARACTERÍSTICA: Altura

DATA: 10/05/94

TOLERÂNCIA: 1,5 mm

OPERADORES		A: Ivone		B: Jurandir		C: Edson		T_j	Q_j	T_j^2
AMOSTRAS	SERIE MED.	X	X^2	X	X^2	X	X^2			
1	1	60,34	3640,915	60,35	3642,122	60,36	3643,329	543,22	32737,55	295007,9
	2	60,37	3644,536	60,33	3640,189	60,35	3642,122			
	3	60,36	3643,329	60,36	3643,329	60,35	3642,122			
2	1	59,88	3585,614	59,87	3582,416	59,82	3578,432	538,83	32259,76	290337,7
	2	59,9	3588,01	59,9	3588,01	59,83	3579,628			
	3	59,93	3591,604	59,89	3586,812	59,81	3577,236			
3	1	60,12	3614,414	60,13	3615,616	60,09	3609,808	541,04	32524,93	292724,2
	2	60,18	3621,632	60,07	3608,404	60,12	3614,414			
	3	60,15	3618,022	60,1	3612,01	60,08	3609,606			
4	1	60,33	3639,789	60,35	3642,122	60,42	3650,576	543,29	32796,01	295164,0
	2	60,4	3648,16	60,32	3638,522	60,37	3644,536			
	3	60,38	3645,744	60,36	3643,329	60,36	3643,329			
5	1	59,72	3566,478	59,69	3562,896	59,63	3555,736	537,13	32056,52	288508,6
	2	59,7	3564,09	59,72	3566,478	59,64	3556,929			
	3	59,7	3564,09	59,69	3562,896	59,64	3556,929			
6	1	59,91	3589,208	59,9	3588,01	59,88	3585,614	539,01	32231,32	290581,7
	2	59,91	3589,208	59,93	3591,604	59,83	3579,628			
	3	59,94	3592,803	59,89	3586,812	59,82	3578,432			
7	1	59,8	3576,04	59,85	3582,022	59,81	3577,236	538,41	32209,48	289935,3
	2	59,82	3578,432	59,83	3579,628	59,82	3578,432			
	3	59,82	3578,432	59,82	3578,432	59,84	3580,825			
8	1	60,06	3607,203	60,05	3606,025	60	3600	540,49	32458,83	292129,4
	2	60,1	3612,01	60,06	3607,203	60	3600			
	3	60,09	3610,808	60,1	3612,01	60,03	3603,609			
9	1	59,79	3574,841	59,8	3576,04	59,88	3585,614	538,52	32222,65	290003,7
	2	59,81	3577,236	59,84	3580,825	59,87	3584,416			
	3	59,84	3580,825	59,82	3578,432	59,87	3584,416			
10	1	60,03	3603,609	60,06	3607,203	60,03	3603,609	540,4	32448,02	292032,1
	2	60,04	3604,801	60,1	3612,01	60,01	3601,209			
	3	60,06	3607,203	60,07	3608,404	60	3600			
T_i		1800,48		1800,3		1797,56		α : 5400,34		β : 2916405
Q_i			108059,0		108037,3		107948,7		λ : 324045,1	
T_i^2		3241728		3241080		3238416		δ : 7721224		

FIG 3.6.A - FOLHA DE COLETA DE DADOS, METODO ANÁLISE DE VARIÂNCIA

(ADAPTADO DA REF. 5)

$$\epsilon = \alpha^2 / (pqr)$$

$$\epsilon = (5400,34)^2 / (3 \cdot 10 \cdot 3)$$

$$\epsilon = (324040,8)$$

$$SQ_A = (\beta / (pr)) - \epsilon$$

$$SQ_A = (2916405) / (3 \cdot 3) - (324040,8)$$

$$SQ_A = (4,2186)$$

$$SQ_O = (\delta / (qr)) - \epsilon$$

$$SQ_O = ((9721224) / (10 \cdot 3)) - (324040,8)$$

$$SQ_O = (0,0158)$$

$$SQ_{TR} = (\tau / r) - \epsilon$$

$$SQ_{TR} = ((972135,2) / (3)) - (324040,8)$$

$$SQ_{TR} = (4,2795)$$

$$SQ_I = SQ_{TR} - SQ_A - SQ_O$$

$$SQ_I = (4,2795) - (4,2186) - (0,0158)$$

$$SQ_I = (0,0451)$$

$$SQ_T = \lambda - \epsilon$$

$$SQ_T = (324045,1) - (324040,8)$$

$$SQ_T = (4,3049)$$

$$SQ_E = SQ_T - SQ_{TR}$$

$$SQ_E = (4,3049) - (4,2795)$$

$$SQ_E = (0,0254)$$

VERIFICACAO DA IGUALDADE DE VARIANCIAS:

$$g(ops) = \max(S_A^2, S_B^2, S_C^2) / \text{soma}(S_A^2, S_B^2, S_C^2)$$

$$g(ops) = (0,00047) / (0,00122)$$

$$g(ops) = (0,3852)$$

$$g(5\%, p, q(r-1)) = 0,5358$$

Para cada amostra por operador, somar as medicoes, elevar o resultado ao quadrado e preencher o quadro abaixo.

	A	B	C	
1	32786,34	32793,59	32782,72	
2	32795,66	32777,72	32785,89	
3	32562,2	32505,09	32504,48	
4	32800,83	32771,86	32815,32	
5	32083,97	32076,81	32088,79	
6	32315,66	32299,28	32281,02	
7	32179,71	32220,25	32239,48	
8	32490,06	32475,64	32410,8	
9	32798,71	32705,89	32268,34	
10	32446,82	32482,85	32414,4	
SOMA	324177	324112	3238463	$\tau = 972135,2$

Para cada amostra por operador, calcular a variancia e preencher o quadro abaixo.

	A	B	C	
1	0,23	0,23	0,03	
2	0,63	0,23	0,1	
3	0,9	0,9	0,43	
4	1,3	0,43	1,03	
5	0,13	0,3	0,03	
6	0,3	0,43	1,03	
7	0,13	0,23	0,23	
8	0,43	0,7	0,3	
9	0,63	0,4	0,03	
10	0,23	0,43	0,23	
MEDIA	0,47	0,41	0,34	1,22

($\times 10^3$)

☒ $g(ops) < g(5\%)$, ha igualdade de variancias

☐ $g(ops) > g(5\%)$, nao ha igualdade de variancias

FONTE	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MEDIO (MQ)	F	F _{5%}
AMOSTRAS	SQ_A	$q - 1$	$SQ_A / (q - 1)$		
OPERDORES	SQ_O	$p - 1$	$SQ_O / (p - 1)$		
INTERACAO	SQ_I	$(p - 1)(q - 1)$	$SQ_I / ((p - 1)(q - 1))$	MQ_I / MQ_E	$F_{(p-1)(q-1), pq(r-1), 5\%}$
TRATAMENTOS	SQ_{TR}	$pq - 1$	$SQ_{TR} / (pq - 1)$		
EQUIPAMENTO	SQ_E	$pq(r - 1)$	$SQ_E / (pq(r - 1))$		
TOTAL	SQ_T	$pqr - 1$	$SQ_T / (pqr - 1)$		

FIG 3.6.B - FOLHA DE CALCULO 1, METODO ANALISE DE VARIANCIA (ELABORADO PELO AUTOR)

FONTE	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MEDIO (MQ)	F	F _{5%}
AMOSTRAS	4,2186	9	0,4687		
OPERADORES	0,0158	2	0,0079		
INTERACAO(OA)	0,0451	18	0,0025	5,8195	1,79
TRATAMENTOS	4,2795	29	0,1476		
EQUIPAMENTO	0,0254	60	0,0004		
TOTAL	4,3049	89	0,0484		

Caso $F > F_{5\%}$, entao

$$VO = 5,15 * \sqrt{(MQ_O - MQ_{OA}) / qr}$$

$$VO = 5,15 * \sqrt{((0,0049) - (0,0025)) / ((10) * (3))}$$

$$VO = (0,0692)$$

$$VE = 5,15 * \sqrt{MQ_E}$$

$$VE = 5,15 * \sqrt{(0,0004)}$$

$$VE = (0,1060)$$

$$VI = 5,15 * \sqrt{(MQ_{OA} - MQ_E) / r}$$

$$VI = 5,15 * \sqrt{((0,0025) - (0,0004)) / (3)}$$

$$VI = (0,1357)$$

Caso $F < F_{5\%}$, entao

(VI = 0)

$$MQ_{EG} = (SQ_E + SQ_{OA}) / (pqr - p - q + 1)$$

$$MQ_{EG} = (() + ()) / (() * () * () - () - () + 1)$$

$$MQ_{EG} = ()$$

$$VO = 5,15 * \sqrt{(MQ_O - MQ_{EG}) / qr}$$

$$VO = 5,15 * \sqrt{(() - ()) / (() * ())}$$

$$VO = ()$$

$$VE = 5,15 * \sqrt{MQ_{EG}}$$

$$VE = 5,15 * \sqrt{()}$$

$$VE = ()$$

$$R\&R = \sqrt{VO^2 + VE^2 + VI^2}$$

$$R\&R = \sqrt{(0,0692)^2 + (0,1060)^2 + (0,1357)^2}$$

$$R\&R = (0,1856)$$

PORCENTAGEM CONSUMIDA PELA TOLERANCIA

REPETITIVIDADE:

$$PTC_E = (VE / TOL) * 100$$

$$PTC_E = ((0,1060) / (1,5)) * 100$$

$$PTC_E = (7,06) \%$$

REPRODUTIVIDADE:

$$PTC_O = (VO / TOL) * 100$$

$$PTC_O = ((0,0692) / (1,5)) * 100$$

$$PTC_O = (4,61) \%$$

INTERACAO:

$$PTC_I = (VI / TOL) * 100$$

$$PTC_I = ((0,1357) / (1,5)) * 100$$

$$PTC_I = (9,05) \%$$

REPET. & REPROD.

$$PTC = (R\&R / TOL) * 100$$

$$PTC = ((0,1856) / (1,5)) * 100$$

$$PTC = (12,37) \%$$

DIRETRIZ:

SISTEMA E' ACEITAVEL CASO:

☐

PTC < 10%

CRITERIO FORTE

☒

10% < PTC < 25%

CRITERIO FRACO

REJEITAR O SISTEMA CASO:

☐

PTC > 25%

FIG 3.6.C - FOLHA DE CALCULO 2, METODO ANALISE DE VARIANCIA
(ELABORADO PELO AUTOR)

SISTEMA 1		SISTEMA 2
APARELHO	Pacimetro digital	Pacimetro analogico
No. APARELHO	PA025L	PA022L
OPERADOR 1	Ivone	Antônio
OPERADOR 2	Jurandir	Jose

DATA: 12/05/94

RESPONSÁVEL: Mário

PEÇA: Flange

CARACTERÍSTICA: altura

SISTEMA 1										SISTEMA 2				
AMOSTRA	OPER1	OPER1^2	OPER2	OPER2^2	SOMA1	SOMA1^2	OPER1	OPER1^2	OPER2	OPER2^2	SOMA2	SOMA2^2	TOTAL	TOTAL^2
1	60,34	3640,9156	60,35	3642,1225	120,69	14566,0761	60,32	3638,5024	60,28	3633,6784	120,6	14544,36	241,29	58220,8641
3	59,88	3585,6144	59,87	3584,4169	119,75	14340,0625	59,78	3573,6	59,82	3578,4324	119,6	14304,16	239,35	57288,4225
3	60,12	3614,4144	60,13	3615,6169	120,25	14460,0625	60,04	3604,8016	60,06	3607,2036	120,1	14424,01	240,35	57768,1225
4	60,33	3639,7089	60,35	3642,1225	120,68	14563,6624	60,24	3628,8576	60,26	3631,2676	120,5	14520,26	241,18	58167,7924
5	59,72	3566,4784	59,69	3562,8961	119,41	14258,7481	59,58	3549,7764	59,64	3556,9296	119,22	14213,4084	238,63	56944,2769
6	59,91	3589,2081	59,90	3588,8801	119,81	14354,4361	59,82	3578,4324	59,84	3580,8256	119,66	14318,5156	239,47	57345,8809
7	59,80	3576,04	59,85	3582,0225	119,65	14316,1225	59,78	3573,6484	59,76	3571,2576	119,54	14289,8116	239,19	57211,8561
8	60,06	3607,2036	60,05	3606,0025	120,11	14426,4121	60,02	3602,4004	60,00	3600,0	120,02	14404,8004	240,13	57662,4169
9	59,79	3574,841	59,8	3576,04	119,59	14301,7681	59,70	3564,09	59,76	3571,2576	119,46	14270,6916	239,05	57144,9025
10	60,03	3603,6009	60,06	3607,2036	120,09	14421,681	60,00	3600	60,00	3600,0	120	14400,0	240,09	57643,2081
SOMA	S 35398,0284	T 36006,4535	U 14408,9585	V 35914,1576	X 35930,8524	Y 14369,0016	Z 57539,745							

FIG 4.1.A - FOLHA DE COLETA DE DADOS, COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS
(ELABORADO PELO AUTOR)

	SISTEMA 1	SISTEMA 2
1	0,00005	0,00008
2	0,00005	0,00008
3	0,00005	0,00002
4	0,00002	0,00002
5	0,000045	0,00018
6	0,00005	0,00002
7	0,000125	0,00002
8	0,00005	0,00002
9	0,00005	0,00018
10	0,000045	0
MEDIA	0,0000265	0,000062
		SOMA 0,000327

VERIFICACAO DA IGUALDADE DE VARIANCIAS

$$g(OBS) = \max(S_1^2, S_2^2) / SOMA$$

$$g(obs) = (0,000265^2) / (0,000327)$$

$$g(obs) = (0,7006)$$

$$g(5\%, P, q(r-1)) = (0,801)$$

☒ $g(obs) < g(5\%)$, ha igualdade de variancias entre sistemas

☐ $g(obs) > g(5\%)$, nao ha igualdade de variancias entre sistemas

$$SQ_A = Z^2 / pr - W / pqr$$

$$SQ_A = (575387,4^2) / ((2) * (2)) - (2398,73) / ((2) * (10) * (2))$$

$$SQ_A = (1,75554)$$

$$SQ_S = (U + Y) / r - Z / pr$$

$$SQ_S = ((144008,9585^{0046} + (143690,743^{0046})) / (2)) - (575387,4^2) / ((2) * (2))$$

$$SQ_S = (0,0473)$$

$$SQ_T = S + T + V + X - W / pqr$$

$$SQ_T = (35998,0284^{0084} + (36006,4535^{0084} + (35914,1576^{0084} + (35930,8524^{0084})) / (2)) - (2398,73) / ((2) * (10) * (2))$$

$$SQ_T = (1,8516)$$

$$SQ_0 = SQ_T - SQ_S - SQ_A$$

$$SQ_0 = (1,8516) - (0,0473) - (1,75554)$$

$$SQ_0 = (0,0088)$$

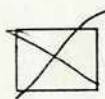
FIG. 4.1.B - FOLHA DE CALCULO1, COMPARACAO ENTRE SISTEMAS
(ELABORADO PELO AUTOR)

FONTE	SQ	G. DE LIBERDADE	MQ	F(obs)	F(5%)
AMOSTRAS	SQ_A	$q-1$	$SQ_A/(q-1)$		
SIST. DENTRO DAS AMOSTRAS	SQ_S	$q(p-1)$	$SQ_S/(q(p-1))$	MQ_S/MQ_0	$F(5\%, p, q(r-1))$
OPER. DENTRO DOS SISTEMAS	SQ_0	$pq(r-1)$	$SQ_0/(pq(r-1))$		
TOTAL	SQ_T				

VERIFICAR A IGUALDADE ENTRE AS MEDIAS DOS SISTEMAS:



$F(\text{obs}) < F(5\%)$, ha igualdade entre as medias dos sistemas



$F(\text{obs}) > F(5\%)$, nao ha igualdade entre as medias dos sistemas

FONTE	SQ	G. DE LIBERDADE	MQ	F(obs)	F(5%)
AMOSTRAS	1,7954	9	0,1995		
SIST. DENTRO DAS AMOSTRAS	0,0473	10	0,0047	10,69	2,35
OPER. DENTRO DOS SISTEMAS	0,0088	20	0,0004		
TOTAL	1,8516				

FIG. 4.1.C - FOLHA DE CALCULO2, COMPARACAO ENTRE SISTEMAS
(ELABORADO PELO AUTOR)

BIBLIOGRAFIA

- 1 - AFERIÇÃO E CALIBRAÇÃO. *Guias para Garantia da Qualidade*, cap.
9. IBP/Comissão de Garantia da Qualidade, 1987.

- 2 - BIANCHI, Mirian G . *Avaliação de Sistemas de Medição*, 1989
(Trabalho de Formatura do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP)

- 3 - BOWKER, A H ; Lieberman, G J . *Engeneering Statistics*.
Prentice - Hall.

- 4 - CHARBONEAU, H C ; Webster G L . *Industrial Quality Control*.
Prentice - Hall.

- 5 - COSTA NETO, Pedro Luís de Oliveira. *Estatística*. Edgard
Blücher, 1988 (8ª edição).

- 6 - CHRYSLER; G.M.; Ford, *Measurement System Analysis - Reference
Manual*. A.I.A.G.,1990.

- 7 - DUNCAN, A J . *Quality Control and Industrial Statistics*.
Richard D Irwin (4ª edição).

- 8 - HRADESKY, J L . *Aperfeiçoamento da Qualidade e Produtividade*.
McGraw Hill, 1989.

- 9 - JURAN, J M . *Quality Control Handbook*. McGraw Hill, 1962.

- 10 - SIGNETS, Sadri K . *Measurement System Evaluation*. A Division
of North American Philips Corporation, 1988.

11 - WAENY, J C C . *Repetitividade e Reprodutividade* - I. IPT, 1980.

12 - _____ *Noções Básicas de Confiabilidade Metrológica*
- IPT, 1980.

12 - _____ *Recomendação sobre Metrologia para Aferição / Calibração VI - Otimização de Investimentos e de Ciclos de Validação*. Boletim Técnico ABCQ, 1986.

14 - WHEELER, D J; Lyday, R W . *Evaluating the Measurement Process*. SPC, 1989.