

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS – MG

ENGENHARIA MECÂNICA

MATHEUS HENRIQUE PEREIRA

**A IMPORTÂNCIA DA FERRAMENTA DE ANÁLISE R & R (REPETITIVIDADE E
REPRODUTIBILIDADE) NA ELABORAÇÃO E/OU ALTERAÇÃO DOS PLANOS
DE CONTROLE NAS EMPRESAS**

**Varginha - MG
2010**

MATHEUS HENRIQUE PEREIRA

A IMPORTÂNCIA DA FERRAMENTA DE ANÁLISE R & R (REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE) NA ELABORAÇÃO E/OU ALTERAÇÃO DOS PLANOS DE CONTROLE NAS EMPRESAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação do Prof. Mairo Mazzeu.

**Varginha - MG
2010**

MATHEUS HENRIQUE PEREIRA

A IMPORTÂNCIA DA FERRAMENTA DE ANÁLISE R & R (REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE) NA ELABORAÇÃO E/OU ALTERAÇÃO DOS PLANOS DE CONTROLE NAS EMPRESAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico pela banca Examinadora composta pelos membros: Prof. Esp. Mairo Mazzeu, Prof. Ms. Alexandre Soriano e Prof. Esp. Márcio de Santana.

Aprovado em / /

Prof. Esp. Mairo Mazzeu

Prof. Ms. Alexandre Soriano

Prof. Esp. Márcio de Santana

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me dado sabedoria e competência para fazê-lo. Depois, dedico este trabalho à minha família, pela compreensão e ajuda durante todo o período deste curso.

Agradeço aos professores, que se empenharam ao máximo para transmitir todo o conhecimento possível para a minha formação. E agradeço aos amigos de trabalho pela total ajuda em idéias, opiniões e conselhos oferecidos durante a construção deste trabalho.

“Quando você puder medir aquilo que está falando e expressá-lo em números, você sabe alguma coisa sobre o que está falando. Quando você não puder expressá-lo em números, o seu conhecimento é parco e insatisfatório. Pode ser o começo de um conhecimento, mas mal se pode dizer que o seu pensamento atingiu o estado da ciência”.

Lord Kelvin

RESUMO

A aplicabilidade da Ferramenta de análise R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) se dá a partir do momento onde a empresa busca uma melhoria no processo de qualidade dos produtos produzidos por ela. Em algumas empresas são utilizados os chamados planos de controle, também chamados de planos de qualidade, onde por vezes, podem estar desatualizados ou não foram elaborados com o devido cuidado no momento da implantação de um novo produto, por exemplo. Com o passar do tempo; a mudança no quadro de funcionários, a introdução de novas tecnologias nos processos e a aquisição de novos equipamentos de medição, solicitam revisões e/ou alterações nos documentos que envolvem tal produto. Para alinhar e procedimentar tais documentos entre fornecedor e cliente, podem ser utilizadas diversas ferramentas. Dentre elas, está a ferramenta de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) que ajuda a definir os equipamentos de medição utilizados pelo fornecedor e pelo cliente, podendo definir até mesmo a maneira de como mensurar tal peça, por exemplo: dispositivos a serem utilizados, local onde se deve mensurar tal peça, seqüência de operações para a medição entre outros.

Palavras-chave: R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade). Plano de Controle. Tridimensional Óptica. Imicro. Ovalização. Máquina de Medir Coordenadas.

ABSTRACT

The applicability of the Tool of analysis R & R happen of the one from the moment where the company searches an improvement in the process of product quality produced for it. In some companies, the control plans are used, also knows of quality plans, where for times, it can be outdated or they had not been elaborated with the well-taken care of had one at the moment of the implantation of a new product, for example. With passing of the time; the change of employees, the introduction of new technologies in the processes and the acquisition of new equipment of measurement, requests revisions and/or alterations in the documents that involve such product. To line up the documents between supplier and customer, many tools can be used. Amongst one they, are the tool of R & R that it can help to define the equipment of measurement used by the supplier and the customer, being able to define the way even though of as to measurement such part for example: devices to be used, local where such part must be measurement, sequence of operations for the measurement among other.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Detalhe dos planos e controle presentes no cliente e no fornecedor destacando a quantidade de itens a serem controlados	20
Figura 02 – Detalhe do plano de controle mencionando a utilização de calibrador tampão PASSA / NÃO PASSA para a cota de 13,92mm.....	20
Figura 03 – Detalhe do desenho da peça destacando a cota em análise	23
Figura 04 – Detalhe do desenho da peça com a especificação para ângulo de saída.....	31
Figura 05 – Detalhe da peça mostrando a presença de cantos arredondados no ponto de medição	32
Figura 06 – Detalhe da peça mostrando a presença de imperfeições (falsas linhas) na região de medição.....	33
Figura 07 – Escala de medição do equipamento Imicro	35
Figura 08 – À esquerda: detalhe da marcação de referência feita no equipamento Imicro. À direita: detalhe da marcação feita nas peças	37
Figura 09: Montagem e utilização dos dispositivos para a medição de circularidade cm relógio comparador	41
Figura 10 – À esquerda: medidor de circularidade. À direita: Máquina de Medir Coordenadas	42
Figura 11 – Detalhe da peça onde foi realizada a medição de circularidade.....	44
Figura 12 – Esfera de rubi de 3 mm utilizada no estudo de R&R.....	46
Figura 13 – Detalhe da Máquina de Medir Coordenadas destacando o recurso de ajuste fino	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R do dispositivo de medição do fornecedor	24
Tabela 02 - Tabela com medições de peças fora da especificação no fornecedor	24
Tabela 03 - Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Fornecedor	26
Tabela 04 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R do dispositivo de medição do Cliente	27
Tabela 05 - Tabela com medições de peças fora da especificação no cliente	28
Tabela 06 - Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente	29
Tabela 07 – Comparativo entre os resultados de R & R entre Fornecedor e Cliente	30
Tabela 08 - Parte da tabela 04 com dados referentes à medição realizada no cliente de uma peça por um mesmo operador	36
Tabela 09 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R do dispositivo de medição do Cliente (2ª medição).....	38
Tabela 10: Tabela com medições de peças fora da especificação no cliente (2ª medição).....	38
Tabela 11: Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente (2ª medição)	39
Tabela 12 – Resultado das medições utilizando-se 12 pontos de contato	45
Tabela 13 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R da Máquina de Medir Coordenadas – Avaliação do diâmetro de 13,92mm	47
Tabela 14 - Tabela com medições de peças fora da especificação com a Máquina de Medir Coordenadas	48
Tabela 15 – Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente com a Máquina de Medir Coordenadas – Diâmetro de 13,92mm	49
Tabela 16 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R da Máquina de Medir Coordenadas – Avaliação da circularidade do diâmetro de 13,92mm.....	50
Tabela 17 – Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente com a Máquina de Medir Coordenadas – Circularidade do diâmetro de 13,92mm	51
Tabela 18 – Resultados do estudo de R & R do diâmetro e da circularidade com a Máquina de Medir Coordenadas	52
Tabela 19 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R da Máquina de Medir Coordenadas – Avaliação do diâmetro de 13,92mm (2ª medição)	54
Tabela 20 – Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente com a Máquina de Medir Coordenadas – Diâmetro de 13,92mm (2ª medição)	55
Tabela 21 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R da Máquina de Medir Coordenadas – Avaliação da circularidade do diâmetro de 13,92mm (2ª medição)	56
Tabela 22 – Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente com a Máquina de Medir Coordenadas – circularidade do diâmetro de 13,92mm (2ª medição)	57
Tabela 23 – Resultados do estudo de R & R do diâm. e da circularidade com a Máquina de Medir Coordenadas após alteração no método de medição do operador 2	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Gráfico das médias das medições realizadas pelo fornecedor com o equipamento Tridimensional Óptico.....	25
Gráfico 02: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o Imicro	28
Gráfico 03: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o equipamento Imicro (2ª medição)	39
Gráfico 04: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o equipamento MMC – Máquina de Medir Coordenadas	48
Gráfico 05: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o equipamento MMC – Máquina de Medir Coordenadas – Circularidade de diâmetro de 13,92mm	50
Gráfico 06: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o equipamento MMC – Máquina de Medir Coordenadas – Diâmetro de 13,92mm (2ª medição)	55
Gráfico 07: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o equipamento MMC – Máquina de Medir Coordenadas – circularidade do diâmetro de 13,92mm (2ª medição)	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. QUALIDADE	14
2.2. PLANOS DE CONTROLE / INSPEÇÃO	15
2.3. REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE	16
2.4. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO E ERROS	17
3. A EMPRESA ESTUDADA.....	18
4. IDENTIFICANDO O PROBLEMA	18
5. LEVANTAMENTO DAS HIPÓTESES	19
6. VERIFICAÇÃO DOS PLANOS DE CONTROLE	19
7. O ESTUDO DE R&R (REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE).....	21
7.1. CONDUZINDO O ESTUDO	22
7.2. R & R DO FORNECEDOR	23
7.3. R & R DO CLIENTE	27
7.4. PRIMEIRAS CONCLUSÕES DOS ESTUDOS DE R&R (REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE) NO FORNECEDOR E NO CLIENTE	30
7.5. NOVO ESTUDO DE R&R DO CLIENTE	37
8. UM NOVO PROBLEMA	40
8.1. PENSANDO EM UM NOVO EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO	40
8.2. A MÁQUINA DE MEDIR COORDENADAS (MMC) – “TRIDIMENSIONAL DE CONTATO”	42
8.3. DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DE PONTOS PARA MEDIR A CIRCULARIDADE E O DIÂMETRO DA PEÇA EM QUESTÃO	43
8.4. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA PEÇA PARA A QUANTIDADE DE PONTOS	44
9. O ESTUDO DE R&R COM A MÁQUINA DE MEDIR COORDENADAS	45
9.1. PRIMEIRAS CONCLUSÕES DOS ESTUDOS DE R&R COM O EQUIPAMENTO DE MEDIR COORDENADAS	52
9.2. NOVO ESTUDO DE R&R COM A MÁQUINA DE MEDIR POR COORDENADAS.....	53
CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

Em tempos onde a economia está globalizada, não se pode garantir a sobrevivência das empresas dependendo que as pessoas façam o melhor que puderem. Além disso, para um produto ser competitivo no mercado, é fundamental considerar qualidade e segurança para o cliente. Visando atender estes itens exigidos pelo mercado, as empresas necessitam gerenciar seus processos para então medir e avaliar os seus efeitos. Mas, não é somente de processos internos numa empresa que estamos falando. Suas matérias-primas também precisam ser controladas. E assim como nos processos internos, a qualidade e a segurança oferecidas nas matérias-primas pelos fornecedores externos, são gerenciadas com a utilização dos “Planos de Controle”.

Os Planos de Controle têm a função de auxiliar a manufatura (fabricação) de produtos de qualidade de acordo com os requisitos do cliente. E ele faz isso fornecendo um modelo estruturado para o projeto; seleção e implementação dos métodos de controle que adicionam valor para o sistema. O Plano de Controle é mantido e usado durante todo o ciclo de vida do produto ou item a ser controlado. Inicialmente, seu primeiro propósito é documentar e comunicar o plano inicial para controle do processo. A seguir ele guia a manufatura em como controlar o processo e assegurar a qualidade do produto ou peça. Finalmente, o Plano de Controle se torna um documento vivo que reflete os atuais métodos de controle e sistema de medição utilizado. O Plano de Controle é atualizado à medida que os sistemas de medição e os métodos de controle são avaliados e aprimorados. E é neste ponto que são utilizadas diversas ferramentas para o controle e atualização destes planos.

O objetivo deste trabalho é o de demonstrar a importância e a aplicabilidade da ferramenta R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) na elaboração e/ou alteração dos planos de controle existentes no fornecedor da matéria-prima e no cliente final. Tem também a finalidade de mostrar como deve ser a realização das análises e coletas de dados para o estudo de R & R. Mostra a aplicabilidade da ferramenta não somente na elaboração e alteração dos planos de controle, mas também na tomada de decisão para a compra de instrumentos de medição, na definição dos planos de controle internos, na aferição de equipamentos que tenham sofrido calibração há pouco tempo e também na definição de qual instrumento de medição pode ser utilizado caso não se possua o instrumento de medição apropriado para determinadas situações.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem por objetivo, analisar as contribuições teóricas que serão utilizadas para a estruturação deste estudo. Neste sentido, ele está dividido em 4 seções. Esta primeira seção relaciona o ordenamento do capítulo, encadeando os assuntos selecionados de acordo com o eixo que rege a pesquisa.

2.1. QUALIDADE

“Numa era de economia global não é mais possível garantir a sobrevivência da empresa apenas exigindo que as pessoas façam o melhor que puderem ou cobrando apenas resultados” (FALCONI, 1992, p.15). Para sobreviver no mercado atual, é necessário que as empresas atendam a diversas solicitações dos mercados (clientes), com a manufatura de produtos no menor custo e com a maior qualidade possível.

Para Falconi (1992, p.14), “[...] a qualidade total são todas aquelas dimensões que afetam a satisfação das necessidades das pessoas e, por conseguinte a sobrevivência da empresa”.

Slack (2009, p.40) diz que “[...] qualidade é a conformidade, coerente com as expectativas do consumidor; em outras palavras, significa “fazer certo as coisas”, mas as coisas que a produção precisa fazer certo variarão de acordo com o tipo de operação”.

Slack (2009, p.523) também diz que “[...] qualidade é a consistente conformidade com as expectativas dos consumidores”.

“O uso da palavra *conformidade* indica que há necessidade de atender a uma especificação clara (a abordagem da manufatura); e garantir que um produto ou serviço esteja conforme as especificações é uma tarefa chave da produção. “Consistente”, implica que a conformidade às especificações não seja um evento *ad hoc*, mas que materiais, instalações e processos tenham sido projetados e então controlados para garantir que o produto ou serviço atenda às especificações, usando um conjunto de características de produto ou serviço mensuráveis (a abordagem baseada no produto)” (SLACK, 2009, p.523).

Albertazzi (2008 p.281 e 282) diz que “[...] empresas são frequentemente movidas por vários objetivos, entre eles, o de se manter no mercado e, para tanto, é necessário gerar lucro. Empresas dependem da existência de clientes dispostos a comprar os seus produtos ou serviços, em vez de escolher os da concorrência. Para conquistar clientes, é necessário oferecer produtos ou serviços com características competitivas em termos de qualidade e de custo, que mostrem vantagens em relação aos concorrentes”.

“Nos caminhos para minimizar os problemas da não-qualidade, empresas investem em pessoas, equipamentos e métodos de trabalho, que levem a uma melhoria na qualidade dos produtos” (ALBERTAZZI, 2008, p.283).

Assim, sabendo que a qualidade é um ponto fundamental para a sobrevivência de uma empresa e sendo necessário garanti-la em todos os pontos, é necessário que se determinem meios de monitorar e controlar os processos de fabricação, entre outros.

Para Albertazzi (2008 p.7), “[...] monitorar consiste em observar ou registrar passivamente o valor de uma grandeza. O interesse pode estar em seu valor momentâneo, no valor acumulado ou na evolução histórica [...]”. “[...] Sistemas de controle têm por objetivo manter uma ou mais grandezas de um processo dentro de limites pré-definidos [...]”.

Falconi (2004 p.89) diz que “[...] quem não monitora seus resultados não gerencia. Seu processo está à deriva. Para “ajustar a máquina”, é necessário medir tudo. “Catar” todos os desvios. Todos os problemas”.

2.2. PLANOS DE CONTROLE / INSPEÇÃO

Como visto nos conceitos de qualidade definidos acima, pode-se concluir com total certeza que para garantir qualidade, é necessário controlar todo o processo, independente de qual ele seja.

Dentro dos aspectos técnicos do controle de qualidade Albertazzi (2008, p.286) diz que “[...] há duas classes principais de controle de qualidade praticadas na indústria: controle por variáveis e controle por atributos. O controle da qualidade por variáveis compara numericamente um parâmetro quantitativo, associado à característica de qualidade do produto a avaliar, com a tolerância. Se estiver dentro da faixa especificada pela tolerância, o componente ou sistema é aprovado. A obtenção do parâmetro quantitativo é normalmente o resultado de uma operação de medição. O controle de qualidade de peças cujo diâmetro deva estar dentro da tolerância $(12,50^{+0,05})$ mm, quando realizado a partir de medições do diâmetro, é um exemplo de *controle de qualidade por variáveis*.

No controle de qualidade por atributos, verifica-se uma ou mais características do componente ou sistema está presente ou ausente. Por exemplo, na etapa final do controle de qualidade de uma fábrica de caldeiras, deve-se verificar a existência de falhas perceptíveis na pintura. O resultado de uma inspeção visual ser “sim” ou “não”. Esse tipo de controle é denominado de *controle de qualidade por atributo*. Não envolve valores numéricos, apenas valores lógicos (verdadeiro ou falso)”.

Normalmente, as empresas trabalham com planos de controle, que fornecem uma descrição resumida dos sistemas usados para minimizar a variação do processo e do produto. O Plano de Controle não substitui a informação contida nas instruções detalhadas do operador. O Plano de Controle é mantido e usado durante todo o ciclo de vida do produto. Inicialmente, seu primeiro propósito é documentar e comunicar o plano inicial para controle do processo. A seguir, ele guia a manufatura em como controlar o processo e assegurar a qualidade do produto. Finalmente, o Plano de Controle se torna um documento vivo que

reflete os atuais métodos de controle e sistema de medição usado. O Plano de Controle é atualizado à medida que os sistemas de medição e os métodos de controle são avaliados e aprimorados.

Segundo Albertazzi (2008, p.6), “[...] do ponto de vista técnico, a medição pode ser empregada para *monitorar, controlar e/ou investigar* processos ou fenômenos físicos”.

Sendo assim, quando se faz necessário a atualização de um plano de controle, diversos meios podem ser utilizados para realizar esta atualização.

Quando nos deparamos com a necessidade de verificação e/ou atualização dos planos de controle, diversos meios e ferramentas podem ser utilizados para validar ou não tal necessidade. Muitas vezes, tal atualização requer uma investigação completa do tópico ou item que se queira atualizar.

Para Albertazzi (2008 p.8), “[...] a *investigação* requer postura *proativa*”.
“[...] Experimentos têm sido e sempre serão os meios mais valiosos para obter conhecimento em todas as áreas da ciência e da atividade industrial.”
“[...] Para que as conclusões certas possam ser tiradas, é necessário medir as grandezas envolvidas de forma confiável. É na investigação que mais se exige dos sistemas de medição. Pequenas diferenças nas grandezas observadas podem revelar a existência de fenômenos até então desconhecidos.”

E nessa investigação ou análise, diversas ferramentas estatísticas como o CEP (Controle Estatístico do Processo), a tendência, a estabilidade, o desvio linear da tendência e os parâmetros de Repetitividade e reprodutibilidade são utilizados para investigar as causas e os pontos onde são necessárias as atualizações.

2.3. REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE

Conforme citado acima, os planos de controle são atualizados à medida que os sistemas de medição ou os métodos de controle são avaliados e aprimorados. Como ferramenta de análise para esta atualização, encontra-se a ferramenta estatística de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade).

Segundo Albertazi (2008 p.344), “[...] a repetitividade corresponde à faixa dentro da qual as indicações do processo de medição são esperadas quando é envolvido um mesmo operador, medindo uma mesma característica do produto e em condições operacionais idênticas.

A reprodutibilidade corresponde à faixa dentro da qual as indicações do processo de medição são esperadas quando envolvidos diferentes operadores, medindo uma mesma característica do produto nas condições naturais do processo de medição”.

Para Suga (2007, p.73), “o calibrador R & R é expresso como a raiz quadrada da soma dos quadrados de “EV a AV”. “EV quer dizer Equipment Variance (Variação de Equipamento), que é comumente conhecido como

Repetitividade, enquanto AV quer dizer Appraiser Variance (Variação do Avaliador), ou Reprodutibilidade”.

Assim, pode-se observar que esta ferramenta de análise estatística, visa a avaliação das medições de um único operador com um mesmo instrumento de medição, assim como a medição realizada por outros operadores com o mesmo instrumento de medição. Sendo assim, se na atualização de um plano de controle há um determinado instrumento de medição necessitando de análises, este pode ser avaliado com a ferramenta estatística R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade).

2.4. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO E ERROS

No tópico anterior, observou-se que a ferramenta de análise R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade), é uma ferramenta que demanda um estudo estruturado sobre os instrumento de medição e seus operadores/avaliadores. Logo, a consideração da metodologia de medição é de extrema importância na análise dos resultados obtidos com o estudo.

As técnicas de medição muitas vezes são ensinadas no trabalho quando um mecânico passa a técnica para outro, por conseguinte, estão faltando a ciência e a prática correta de medição (SUGA, 2007, apud SKATTUM, 2007).

“As imperfeições do sistema de medição, as limitações do operador e as influências das condições ambientais são exemplos de fatores que induzem *erros de medição*” (ALBERTAZZI, 2008 p.40).

Para Albertazzi (2008, p.11), “denomina-se processo de medição o conjunto de métodos e meios que são utilizados para efetuar uma medição. Além do mensurando e do sistema de medição, fazem parte do processo o operador, os procedimentos de medição utilizados e as condições em que as medições são efetuadas”.

Assim, verifica-se que não basta apenas medir peças, plotar os resultados numa planilha de cálculo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade), e alterar um plano de controle.

Para atualizar um plano de controle que esteja desatualizado ou não foi elaborado corretamente na implantação do item a ser controlado, é necessário realizar um estudo que identifique além do método de medição / avaliação correto, avalie também a fonte de erros que o sistema pode estar gerando. Assim, o estudo ganha consistência, veracidade, e pode trazer muita economia para as empresas dependendo da consistência do resultado que se

encontre com o estudo. Também vale lembrar que dependendo da situação com que se depare, somente a análise utilizando uma ferramenta não pode ser totalmente confiável. Para que a análise ganhe consistência e confiabilidade poder ser necessário a utilização de diversas outras ferramentas, mas isto depende do conhecimento do avaliador sobre o processo que esteja sobre análise.

3. A EMPRESA ESTUDADA

A demonstração da importância do objeto de estudo se deu em uma importante empresa multinacional do ramo de eletrodomésticos, situada na cidade de Varginha – MG, juntamente com um de seus fornecedores de peças plásticas, também situado na cidade de Varginha-MG.

No presente estudo que se segue, denominaremos o fornecedor de peças plásticas apenas de “fornecedor” e a empresa multinacional do ramo de eletrodomésticos de “cliente”.

4. IDENTIFICANDO O PROBLEMA

Para que se possa controlar com eficiência a qualidade da matéria-prima recebida, é necessário ter em mãos, ferramentas que sejam capazes de mensurar esta qualidade, e assim, validar ou não uma peça para a produção (manufatura).

No caso em referência, o cliente recebeu por um determinado período, peças fora da especificação, porém não sendo identificado pelo sistema da qualidade na área de inspeção de recebimento, o que acarretou em problemas de qualidade no processo produtivo e conseqüentemente alto índice de refugo, pois o mesmo não poderia ser remanufaturado.

Neste caso especificamente, o cliente recebeu peças plásticas nas quais foram inseridas sob pressão, uma bucha de material sinterizado. Como a peça plástica apresentava um diâmetro menor do que o especificado; no momento da inserção da bucha, o material plástico não suportava as tensões internas geradas pelo esforço de inserção.

Diante do problema, o cliente, reprovou o lote de peças de seu fornecedor e o mesmo teve de corrigir o problema para continuar o fornecimento das peças plásticas.

Depois de teoricamente corrigido o problema em seu processo, o fornecedor necessitou injetar novas peças plásticas para verificar se a correção realizada tinha ou não

surtido efeito na peça. Mas, para espanto do fornecedor, a condição dimensional da peça havia piorado. Novamente, o fornecedor realizou ajustes sem nenhum sucesso.

Com as peças em mãos, o fornecedor solicitou que o seu cliente avaliasse a condição da peça e, para espanto de todos os envolvidos, a Inspeção de Recebimento do cliente aprovou as mesmas peças que seu fornecedor havia reprovado.

Diante disso, surgiram as seguintes perguntas:

Qual método de avaliação é o correto? Pode-se confiar na “Inspeção de Recebimento” do cliente e na inspeção de qualidade do fornecedor? Os operadores estão devidamente capacitados para exercer as funções de inspeção? Os instrumentos de medição estão devidamente calibrados?

E foi para responder a estas e outras perguntas que o estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) foi realizado.

5. LEVANTAMENTO DAS HIPÓTESES

Alguns fatores (sem considerar a variação entre materiais supostamente idênticos) podem contribuir para a variabilidade do procedimento de medição e conseqüente variação dos resultados obtidos com o mesmo. São eles: o operador, o equipamento utilizado, a calibração do equipamento e as condições ambientais (temperatura, umidade etc.).

Munido destas hipóteses, porém antes mesmo de verificá-las, foi necessário identificar os documentos que procedimentam as inspeções tanto no fornecedor quanto no cliente para assim concluir se haviam falhas na disponibilização e atualização destes documentos.

6. VERIFICAÇÃO DOS PLANOS DE CONTROLE

Conforme mencionado anteriormente, o Plano de Controle é um documento vivo que reflete os atuais métodos de controle e sistema de medição utilizado. Ele é atualizado à medida que os sistemas de medição e os métodos de controle são avaliados e aprimorados.

Como primeira parte da análise, foram verificados os Planos de Controle existentes no fornecedor e no cliente. Deles, foram retiradas algumas informações importantes para o decorrer da análise. Vejamos:

- O fornecedor não possuía o Plano de Controle do item que estava sendo analisado.

Então, como o fornecedor controlava tal item?

Observação: O cliente produz produtos de 3 cores diferentes. O fornecedor possuía o Plano de Controle do item de cor cinza, mas o cliente estava avaliando as peças e a

documentação do item de cor branca. Os mesmos possuem codificação diferente, mas teoricamente deveriam ser controlados da mesma maneira, pois as dimensões da peça permanecem inalteradas independentemente da sua cor.

- Faltam itens de controle nos Plano de Controle presente no fornecedor.

Apesar das peças serem de cores diferentes, os itens a serem controlados não deveriam ser, pois se trata da mesma peça em questões dimensionais. Mas, analisando estes itens nos Planos de Controle, verificou-se que o Plano de Controle da peça de cor branca (presente no cliente) possui 8 itens a serem controlados. Já o plano de controle da peça de cor cinza (presente no fornecedor) possui apenas 7 itens a serem controlados.

*7	Estética		Cor white 90311	Visual - conf. Padrão	100%	Continua	Registro Inspeção
*8	Dimensão		14,05 ± 0,05 (20x17)	calibrador tampão P/NP (ou Imicro)	3 peças / cav	2 horas	Registro inspeção

8 itens de controle
Plano de Controle presente no cliente

*7	Estética		Cor Mid Grey 11249	Visual - conf. Padrão	100%	Continua	Registro Inspeção
----	----------	--	--------------------	-----------------------	------	----------	-------------------

7 itens de controle
Plano de Controle presente no fornecedor

Figura 01: Detalhe dos planos e controle presentes no cliente e no fornecedor destacando a quantidade de itens a serem controlados

- Apesar dos Planos de Controle entre cliente e fornecedor possuírem a cota de $13,92 \pm 0,05$ mm a ser controlada, ambos indicavam na técnica de avaliação / medição a utilização de calibrador tampão Passa / Não Passa.

Então como a peça era mensurada, caso fosse necessário uma análise mais criteriosa, como neste caso, onde havia um desvio dimensional?

Em análise e questionamentos junto às partes envolvidas, foi identificada a utilização para a medição do diâmetro de $13,92 \pm 0,05$ mm, o instrumento de medição “Imicro” (micrômetro de diâmetros internos) no cliente e Tridimensional Óptica no fornecedor.

Nº	Produto	Processo	Tolerância/ Especificação de Produto/Processo	Técnica de Avaliação/ Medição	Amostra		Método de Controle
					Tamanho	Freq.	
*1	Dimensão		13,92 ± 0,05 (20x25)	calibrador tampão P/NP	3 peças / cav	2 horas	

Figura 02: Detalhe do plano de controle mencionando a utilização de calibrador tampão PASSA/NÃO PASSA para a cota de 13,92mm

Como os Planos de Controle existentes no fornecedor e no cliente não indicavam a utilização de um meio de medição específico em casos especiais, cada um utilizava o instrumento de medição que lhe fosse mais conveniente ou que lhe estivesse disponível. Daí a diferença do método de medição encontrado entre fornecedor e cliente. Mas então, qual dos métodos de medição realmente estava representando a realidade, já que no fornecedor a peça era reprovada, e no cliente a peça era aprovada?

7. O ESTUDO DE R&R (REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE)

Quando se descreve uma medida quantitativa de uma determinada grandeza, é necessário garantir a confiabilidade dos dados que são obtidos, para que os mesmos possam ser utilizados na comparação entre valores num estudo de melhoria de processos, de projetos, no monitoramento estatístico do CEP ou na simples comparação com medidas padrão.

O objetivo dos estudos a seguir é o de verificar e definir qual o melhor meio de medição para controlar um item obrigatório na inspeção de um produto. Para tal verificação será utilizada a ferramenta estatística de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade).

REPETITIVIDADE é a variação nas medidas obtidas por um operador medindo várias vezes a mesma característica de uma peça, utilizando para isto o mesmo dispositivo de medição.

REPRODUTIBILIDADE é a variação na média das medidas obtidas por diversos operadores medindo a mesma característica de uma peça, utilizando para isto o mesmo dispositivo de medição.

Logo, com estas duas verificações, podemos analisar tanto o equipamento e o método de medição utilizado, quanto o operador que realiza a medição.

Para a realização de um estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) são necessários no mínimo 2 operadores.

Independente do número de operadores (sendo no mínimo 2), as replicações e as peças podem variar, e a subsequente discussão representa a condição ótima de se conduzir o estudo. O procedimento detalhado está descrito nas páginas 121 e 122 do manual de Análise dos Sistemas de Medição (MSA) da indústria automotiva.

Segundo a QS 9000, “[...] diretrizes para a aceitação da Repetitividade e Reprodutibilidade do instrumento (%R&R) são:

- Erro abaixo de 10% - (Sistema de Medição OK)

- Erro de 10% a 30% - (Sistema pode ser aceitável baseado na importância da aplicação, custo do instrumento de medição, custo de reparos, etc.)
- Erro acima de 30% - (Sistema de medição necessita de melhoria. Fazer todo esforço em identificar os problemas e atuar corretivamente)”.

Observação: Todos os cálculos são baseados na estimativa de 5.15 desvios padrão (99,0% da área abaixo da curva normal).

7.1. CONDUZINDO O ESTUDO

Conforme identificado anteriormente, fornecedor e cliente utilizam métodos de medição diferentes. A idéia então, é verificar se os métodos utilizados são aceitáveis e porque há uma diferença de medição entre ambos.

Para se iniciar o estudo, foi necessário determinar a quantidade de peças que seriam mensuradas, o número de operadores que realizariam a medição; e como os operadores realizariam a medição.

Para a medição, foram retiradas do estoque presente no cliente, 10 peças de cavidades diferentes, que representariam a maior variabilidade do processo presente no fornecedor.

Cavidade de molde: Para se obter o formato da peça com as dimensões especificadas em projeto, é necessário fundir o polímero (material plástico) e o “máster” (material que determina a cor do material); injetando-os sob elevadíssimas pressões dentro de uma cavidade que possui os formatos e as dimensões especificadas em desenho de projeto. Dependendo do projeto, custo, qualidade, necessidade de produção entre outros, podemos ter num mesmo molde de injeção plástica, diversas cavidades da mesma peça. Isso significa que em cada ciclo de injeção plástica, o número de peças que se obtêm é igual ao número de cavidades que o molde possui.

Assim, o molde do item que está sendo verificado possui 4 cavidades denominadas de A1, A2, A3 e A4.

Para o estudo foram coletadas aleatoriamente de um lote, 10 peças sendo: 3 peças da cavidade A1, 3 peças da cavidade A2, 2 peças da cavidade A3 e 2 peças da cavidade A4, para assim representarmos a maior variação dimensional possível que possa ter ocorrido no processo do fornecedor.

Munido das 10 peças, o primeiro estudo foi realizado no fornecedor.

Como no fornecedor, há somente 2 operadores capacitados para operar o equipamento Tridimensional Óptico, foram selecionados também 2 operadores no cliente, para que o estudo apresentasse as mesmas condições de análise.

7.2. R & R DO FORNECEDOR

Conforme mencionado, o fornecedor possui 2 operadores (1 operador que trabalha no primeiro turno de serviço e outro operador que trabalha no segundo turno de serviço).

As 10 peças separadas foram numeradas de 1 até 10 e entregues aos operadores em seus turnos para que fossem mensuradas. A cota em análise foi a de $13,92^{+0,05}$ mm.

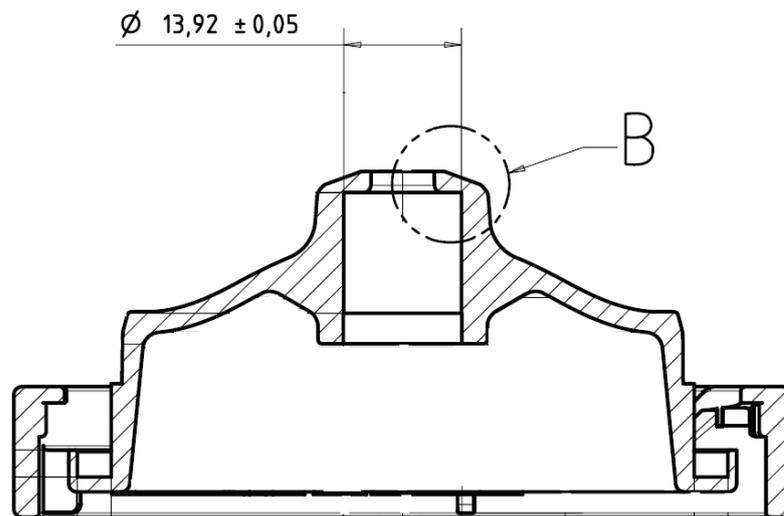


Figura 03: Detalhe do desenho da peça destacando a cota em análise

Observação: Para que um estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) seja bem realizado deve-se garantir que o operador meça as 10 peças sendo uma mesma peça por 3 vezes, porém, a mensuração de uma mesma peça não pode ser realizada em seqüência. Por exemplo:

- Não se deve realizar a medição da peça 1, 1, 1; depois 2, 2, 2; depois 3, 3, 3 e assim por diante.
- Deve se realizar a medição aleatoriamente, como por exemplo: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10; depois 5, 7, 1, 3, 4, 2, 10, 8, 9, 6; e assim por diante.

Quando o estudo foi realizado, estes cuidados foram tomados tanto no fornecedor, quanto no cliente.

Após a realização do estudo no fornecedor, os seguintes resultados foram plotados nas planilhas de cálculo conforme segue.

Tabela 01 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R do dispositivo de medição do fornecedor
Folha de Coleta de Dados para a Repetitividade e Reprodutibilidade do Dispositivo de Medição

Avaliador / Medição N°	Peças										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A 1	13,767	13,874	13,815	13,919	13,919	13,826	13,903	13,905	13,889	13,863	13,868
2	13,737	13,753	13,799	13,905	13,919	13,762	13,886	13,903	13,855	13,920	13,844
3	13,758	13,791	13,875	13,906	13,918	13,846	13,916	13,914	13,896	13,903	13,872
Média	13,754	13,806	13,830	13,910	13,919	13,811	13,902	13,907	13,880	13,895	$\bar{X}_a = 13,861$
Amplitude	0,030	0,121	0,076	0,014	0,001	0,084	0,030	0,011	0,041	0,057	$\bar{R}_a = 0,047$
B 1	13,927	13,955	13,925	13,900	13,883	13,889	13,869	13,944	13,925	13,838	13,906
2	13,913	13,884	13,923	13,872	13,874	13,873	13,870	13,930	13,882	13,858	13,888
3	13,878	13,884	13,877	13,881	13,901	13,875	13,871	13,890	13,910	13,870	13,884
Média	13,906	13,908	13,908	13,884	13,886	13,879	13,870	13,921	13,906	13,855	$\bar{X}_b = 13,892$
Amplitude	0,049	0,071	0,048	0,028	0,027	0,016	0,002	0,054	0,043	0,032	$\bar{R}_b = 0,037$

Fonte: O autor

Os itens marcados na cor azul são referentes às mensurações do operador 1, e os itens marcados na cor rosa são referentes ao operador 2. Observamos que a variação na mensuração de uma mesma peça é muito grande para ambos os operadores. Esta variação pode ser observada na figura abaixo, que trás sinalizados em vermelho, as medições que resultaram em peças fora da especificação.

Tabela 02 - Tabela com medições de peças fora da especificação no fornecedor
Relatório Dimensional - As células em Vermelho representam peças fora da especificação

Especificação	13,920		Máx.			13,970		Min.		13,870	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Peças	-0,103		-0,055			-0,044				-0,007	
	-0,133	-0,117	-0,071			-0,108			-0,015		
	-0,112	-0,079				-0,024					
Medições operador 1											
Medições operador 2											
							-0,001			-0,032	
										-0,012	

Fonte: O autor

Conforme pode ser observado, o sistema de medição do fornecedor não garante confiabilidade, pois o sistema aprova e reprov a mesma peça conforme pode ser visto nas peças 2, 3, 7, 9 e 10. Também observamos que a reprodutibilidade entre os operadores não é boa, pois das 30 mensurações realizadas por cada um dos operadores, o operador 1 reprovou 12 vezes sendo que o operador 2 reprovou apenas 3 (vide tabela 02). Logo, somente por estes dados, observamos que o sistema de medição do fornecedor não é confiável. Mas, podemos observar ainda melhor esta variação com o gráfico abaixo, que mostra a média de valores mensurados para cada operador. Para o gráfico abaixo, seria ideal que as linhas de mensuração entre os 2 operadores estivessem o mais próximo possível uma da outra.

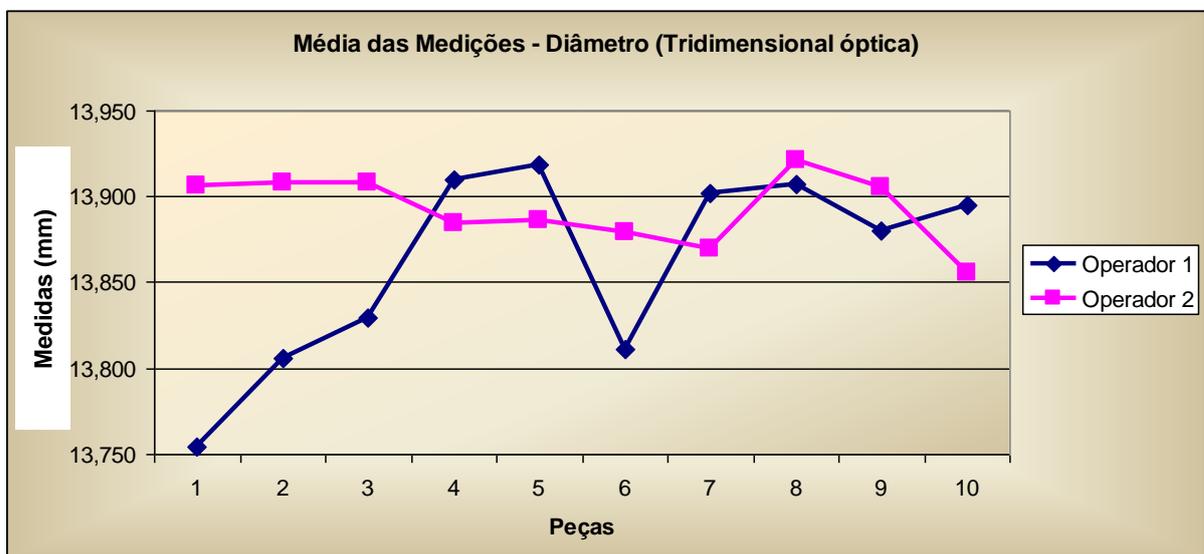


Gráfico 01: Gráfico das médias das medições realizadas pelo fornecedor com o equipamento Tridimensional Óptico

Com o gráfico 01, pode-se observar que as linhas de mensuração do operador 1 e do operador 2 estão todas desalinhadas e muito distantes umas das outras. Pode ser observado que as linhas se cruzam no gráfico, demonstrando total desajuste do sistema e método de medição entre os operadores.

Este desarranjo pode ser comprovado pela seqüência de cálculos de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) conforme mostrado abaixo:

Tabela 03 - Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Fornecedor

Análise na Unidade de Medição		% sobre a Variação Total (VT)							
Repetitividade => Variação do Equipamento (VE) $VE = \bar{R} \times K_1$ $= 0,0418 \times 3,05$ $= \mathbf{0,12734}$		$\%VE = 100 (VE / VT)$ $= 100 (0,12734 / 0,21706)$ $= \mathbf{58,66\%}$							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº Medições Repetidas</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>4,56</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3,05</td> </tr> </tbody> </table>	Nº Medições Repetidas	K_1	2	4,56	3	3,05		
Nº Medições Repetidas	K_1								
2	4,56								
3	3,05								
Reprodutibilidade => Variação entre Avaliadores (VA) $VA = \sqrt{(\bar{X}_{DIF} \times K_2)^2 - (VE^2 / (n \times r))}$ $= \sqrt{(0,031 \times 3,65)^2 - (0,12734^2 / (10 \times 3))}$ $= \mathbf{0,11061}$		$\%VA = 100 (VA / VT)$ $= 100 (0,11061 / 0,21706)$ $= \mathbf{50,96\%}$							
n = nº de peças r = nº de medidas repetidas	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº de Avaliadores</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K_2</td> <td>3,65</td> <td>2,70</td> </tr> </tbody> </table>	Nº de Avaliadores	2	3	K_2	3,65	2,70		
Nº de Avaliadores	2	3							
K_2	3,65	2,70							
Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R) $R\&R = \sqrt{VE^2 + VA^2}$ $= \sqrt{0,12734^2 + 0,11061^2}$ $= \mathbf{0,16867}$		$\%R\&R = 100 (R\&R / VT)$ $= 100 (0,16867 / 0,21706)$ $= \mathbf{77,71\%}$							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Peças</th> <th>K_3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>3,65</td> </tr> </tbody> </table>	Peças	K_3	2	3,65				
Peças	K_3								
2	3,65								

Fonte: O autor

Conforme se observa na tabela 3, os resultados obtidos foram muito ruins.

- Variação do Equipamento = 58,66%
- Variação do Avaliador / Operador = 50,96%
- R & R = 77,71%

E como as diretrizes para a aceitação da Repetitividade e Reprodutibilidade do instrumento (%R&R) são de que para Erro acima de 30% - (Sistema de medição necessita de melhoria. Fazer todo esforço em identificar os problemas e atuar corretivamente).

Neste caso, foi necessário identificar as causas deste resultado e atuar nestas, caso fosse possível. Mas, antes de identificarmos as causas do resultado obtido no fornecedor, vejamos o resultado obtido no cliente.

7.3. R & R DO CLIENTE

Após a realização do estudo no fornecedor, o mesmo estudo foi realizado no cliente. E os mesmos cuidados com relação, às peças, seqüência de medições, quantidade de operadores, entre outros, foram observados para que fosse assegurada a maior semelhança entre os estudos. O estudo no cliente também foi realizado com a utilização de 2 operadores (1 operador que trabalha no primeiro turno de serviço e outro operador que trabalha no segundo turno de serviço).

As 10 peças utilizadas foram as mesmas utilizadas no fornecedor, e as mesmas já estavam numeradas de 1 até 10. A cota em análise foi a de $13,92^{+0,05}$ mm. O instrumento de medição utilizado foi o “Imicro” (micrômetro de diâmetros internos).

Após a realização do estudo no cliente, os seguintes resultados foram plotados nas planilhas de cálculo conforme se segue.

Tabela 04 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R do dispositivo de medição do Cliente
Folha de Coleta de Dados para a Repetitividade e Reprodutibilidade do Dispositivo de Medição

Avaliador / Medição N°	Peças										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A 1	13,910	13,940	13,880	13,910	13,930	13,930	13,900	13,920	13,880	13,900	13,910
2	13,910	13,930	13,940	13,920	13,890	13,910	13,870	13,910	13,910	13,890	13,908
3	13,900	13,930	13,880	13,900	13,920	13,920	13,910	13,920	13,910	13,870	13,906
Média	13,907	13,933	13,900	13,910	13,913	13,920	13,893	13,917	13,900	13,887	$\bar{X}_a = 13,908$
Amplitude	0,010	0,010	0,060	0,020	0,040	0,020	0,040	0,010	0,030	0,030	$\bar{R}_a = 0,027$
B 1	13,890	13,920	13,920	13,920	13,870	13,910	13,900	13,880	13,890	13,870	13,897
2	13,950	13,960	13,900	13,900	13,920	13,940	13,930	13,890	13,900	13,910	13,920
3	13,910	13,930	13,930	13,920	13,910	13,950	13,890	13,880	13,910	13,900	13,913
Média	13,917	13,937	13,917	13,913	13,900	13,933	13,907	13,883	13,900	13,893	$\bar{X}_b = 13,910$
Amplitude	0,060	0,040	0,030	0,020	0,050	0,040	0,040	0,010	0,020	0,040	$\bar{R}_b = 0,035$

Fonte: O autor

Os itens marcados na cor azul são referentes às mensurações do operador 1, e os itens marcados de rosa são referentes ao operador 2. Observamos neste caso que a variação na mensuração de uma mesma peça é muito menor se comparado como estudo realizado no

fornecedor. Esta variação foi muito menor e pode também ser observada na figura abaixo, que trazem marcadas em vermelho, as medições que resultaram em peças fora da especificação.

Tabela 05 - Tabela com medições de peças fora da especificação no cliente
Relatório Dimensional - As células em Vermelho representam peças fora da especificação

Especificação	13,920		Máx. 13,970			Mín. 13,870				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peças										
Medições operador 1										
Medições operador 2										

Fonte: O autor

Conforme pode ser observado na tabela 05, o sistema de medição do cliente aparenta ser melhor que o do fornecedor para esta cota, pois ao menos este sistema aprovou todas as peças que foram submetidas à mensuração. Mas esta variação ainda não indica que o sistema é confiável. Esta conclusão só pode ser obtida com a planilha de cálculos de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade). Também observa-se que a reprodutibilidade entre os operadores é boa, pois o resultado obtido entre eles não apresentou dúvidas se as peças estavam ou não aprovadas / reprovadas. Mas, apesar de tudo, quando plotado os valores médios de cada medição por operador num gráfico, observamos a seguinte situação.

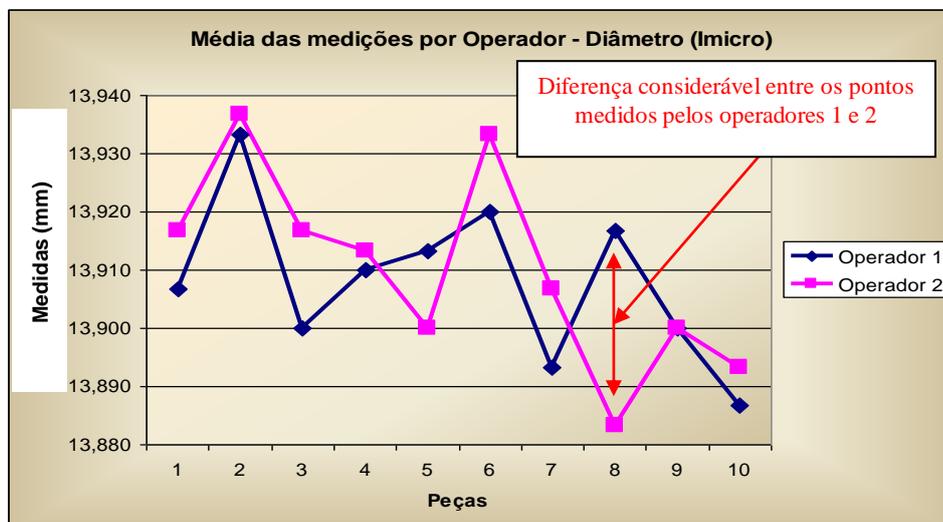


Gráfico 02: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o Imicro

Apesar das linhas de medição (azul e rosa) de cada operador estarem mais próximas, ainda pode ser observado que em alguns pontos, a diferença de medição entre um operador e outro é grande, como pode ser observado com maior evidência na peça 08. Nessa peça, podemos ver pela tabela 04, que a média de medição do operador 1 foi de 13,917mm e do operador 2 foi de 13,883mm representando uma diferença de 0,034mm. Neste estudo, uma diferença de 0,034mm tem um valor significativo. A seqüência do estudo pode ser observada e comprovada pela seqüência de cálculos de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) conforme abaixo:

Tabela 06 - Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente

Análise na Unidade de Medição		% sobre a Variação Total (VT)							
Repetitividade => Variação do Equipamento (VE) $VE = \bar{R} \times K_1$ $= 0,031 \times 3,05$ $= \mathbf{0,09455}$		$\%VE = 100 (VE / VT)$ $= 100 (0,09455 / 0,11939)$ $= \mathbf{79,19\%}$							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>N. Medições Repetidas</td> <td>K_1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4,56</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3,05</td> </tr> </table>		N. Medições Repetidas	K_1	2	4,56	3	3,05		
N. Medições Repetidas	K_1								
2	4,56								
3	3,05								
Reprodutibilidade => Variação entre Avaliadores (VA) $VA = \sqrt{(\bar{X}_{DIF} \times K_2)^2 - (VE^2 / (n \times r))}$ $= \sqrt{(0,002 \times 3,65)^2 - (0,09455^2 / (10 \times 3))}$ $= \mathbf{0}$		$\%VA = 100 (VA / VT)$ $= 100 (0 / 0,11939)$ $= \mathbf{0,00\%}$							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>N. de Avaliadores</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>K_2</td> <td>3,65</td> <td>2,70</td> </tr> </table>		N. de Avaliadores	2	3	K_2	3,65	2,70		
N. de Avaliadores	2	3							
K_2	3,65	2,70							
Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R) $R\&R = \sqrt{VE^2 + VA^2}$ $= \sqrt{0,09455^2 + 0^2}$ $= \mathbf{0,09455}$		$\%R\&R = 100 (R\&R / VT)$ $= 100 (0,09455 / 0,11939)$ $= \mathbf{79,19\%}$							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Peças</td> <td>K_3</td> </tr> </table>		Peças	K_3						
Peças	K_3								

Fonte: O autor

Observa-se pela tabela 06, que os resultados obtidos com o estudo no cliente foram ruins. Mas, porque este resultado ocorreu, se tudo indicava a um bom resultado de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade), se comparado com o resultado obtido no fornecedor?

Antes de responder a esta pergunta vejamos o resultado do estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) realizado no cliente.

- Variação do Equipamento = 79,19%
- Variação do Avaliador / Operador = 0,00%
- R & R = 79,19%

E como as diretrizes para a aceitação da Repetitividade e Reprodutibilidade do instrumento (%R&R) são de que para Erro acima de 30% - (Sistema de medição necessita de melhoria. Fazer todo esforço em identificar os problemas e atuar corretivamente).

Diante do resultado, foi necessário identificar as causas deste resultado e atuar nestas, caso fosse possível.

7.4. PRIMEIRAS CONCLUSÕES DOS ESTUDOS DE R&R (REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE) NO FORNECEDOR E NO CLIENTE

Antes de iniciarmos as análises, vejamos o comparativo entre os resultados na tabela abaixo.

Tabela 07 – Comparativo entre os resultados de R & R entre Fornecedor e Cliente

R & R do Fornecedor		R & R do Cliente	
Varição do Equipamento	58,66%	Varição do Equipamento	79,19%
Varição do Avaliador	50,96%	Varição do Avaliador	0,00%
R & R	77,71%	R & R	79,19%

Fonte: o autor

Como se pode observar, nem o R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) realizado no fornecedor e nem o R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) realizado no cliente foram satisfatórios, necessitando ambos de correções, ou ao menos verificações de suas falhas.

Observações realizadas no Fornecedor

Com o resultado do fornecedor encontramos todos os principais itens avaliados (são eles: Variação do Equipamento, Variação do Avaliador e R & R geral) com uma porcentagem muito alta, e isto significa uma série de problemas em todos os processos, desde o equipamento até à forma de avaliação /mensuração do operador. Dentre os itens observados no fornecedor, foram identificados como as principais causas para o resultado:

- A peça;

Toda peça plástica, necessita ter o que chamamos de um ângulo de saída.

Ângulo de saída: ângulo necessário nas peças plásticas para facilitar a extração da peça do molde após o processo de injeção plástica. Caso não exista este ângulo, a extração da peça é dificultada, podendo ocorrer um agarramento da peça no molde, resultando em deformações e alterações dimensionais devido à temperatura da peça ainda estar alta. Assim, a peça ainda possui bastante flexibilidade no momento de sua extração do molde.

Assim como em toda peça plástica, a peça em análise deste estudo, possui ângulo de saída bem no ponto do diâmetro de 13,92 mm. A presença deste ângulo de saída tira a possibilidade de criar uma linha de referência para a realização da medição da peça com o equipamento utilizado pelo fornecedor. O que se enxerga nesta região é uma espécie de parede inclinada devido à existência deste ângulo de saída. No desenho do cliente existe até a especificação deste ângulo de saída, veja:

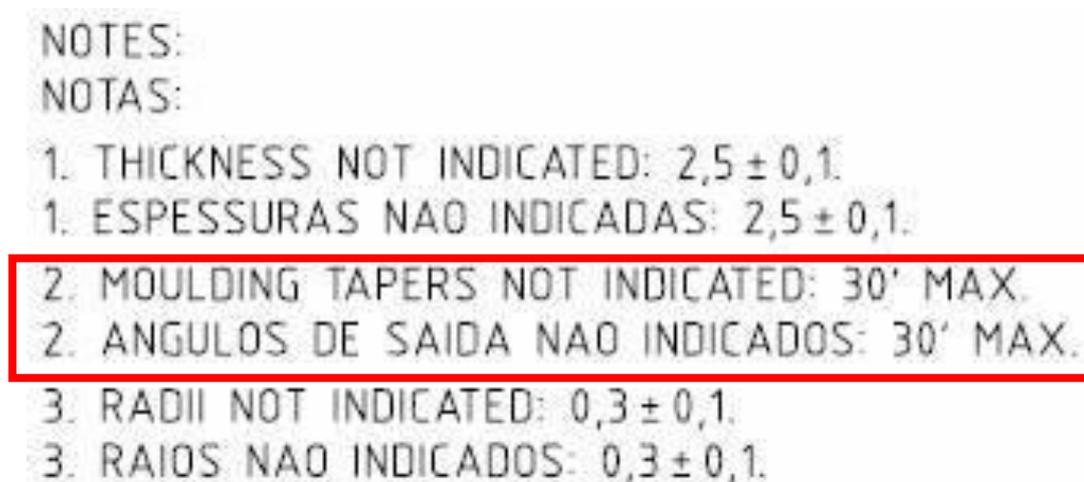


Figura 04: Detalhe do desenho da peça com a especificação para ângulo de saída

- Ausência de cantos vivos na peça;

É sempre recomendado a não existência de cantos vivos nas peças para se evitar assim um acúmulo de tensões nestes pontos, diminuindo as chances de quebra de tal peça / componente.

Na peça em análise não é diferente. Como já existia um ângulo de saída, o único ponto para a realização de tal medição seria o ponto mais profundo deste diâmetro, e no ponto mais profundo há cantos arredondados para evitar o acúmulo de tensões, mas que impossibilitam a visualização de uma linha que pudesse ser utilizada como ponto de medição pelo operador.

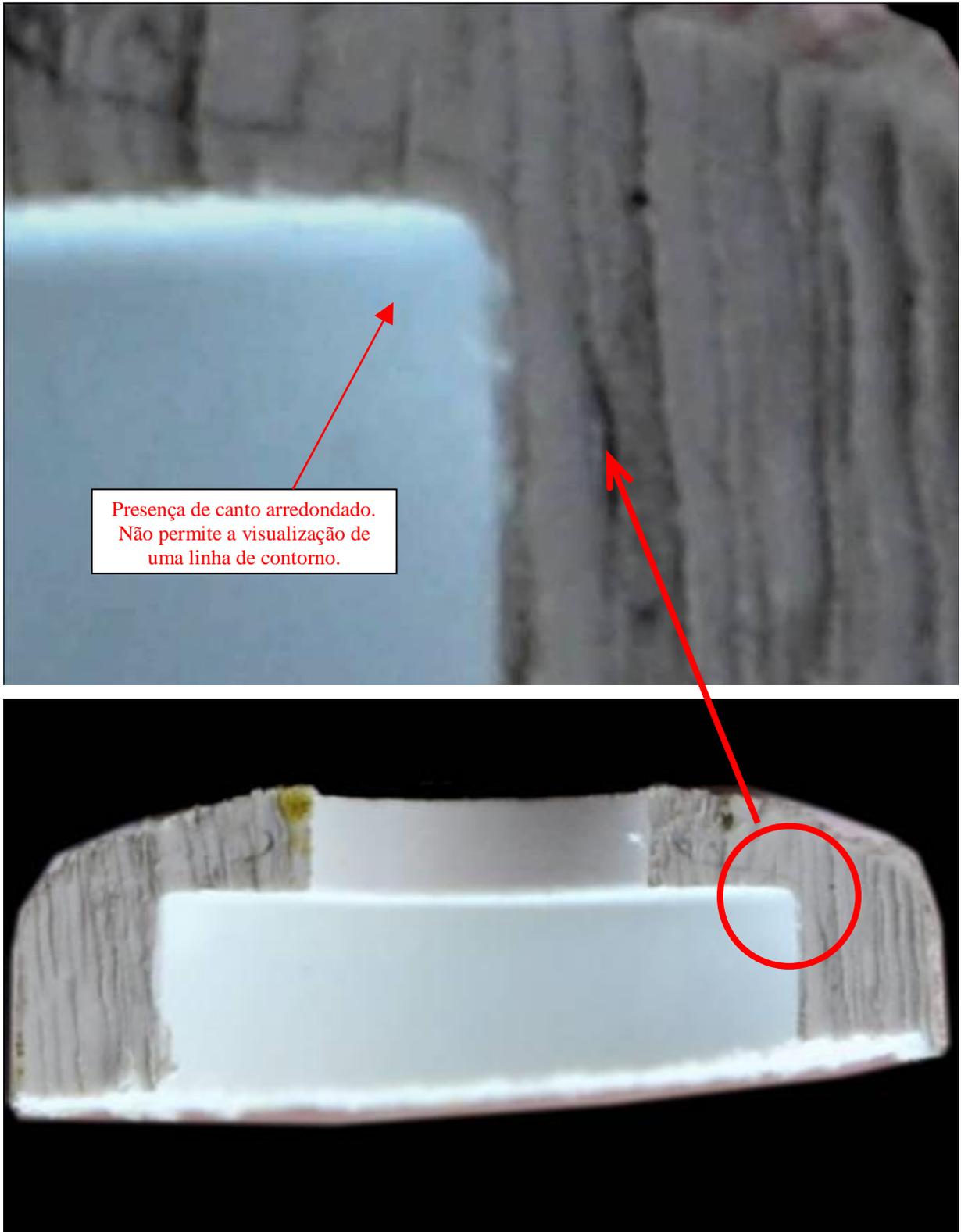


Figura 05: Detalhe da peça mostrando a presença de cantos arredondados no ponto de medição

- A formação de falsas linhas de referência;

Na peça em análise, foi observado que durante a medição, os operadores tinham que visualizar linhas para tê-las como referência de medição. No fundo da peça, havia a formação de várias falsas linhas devido a imperfeições do processo de injeção naquela região, conforme pode ser visto na figura abaixo:

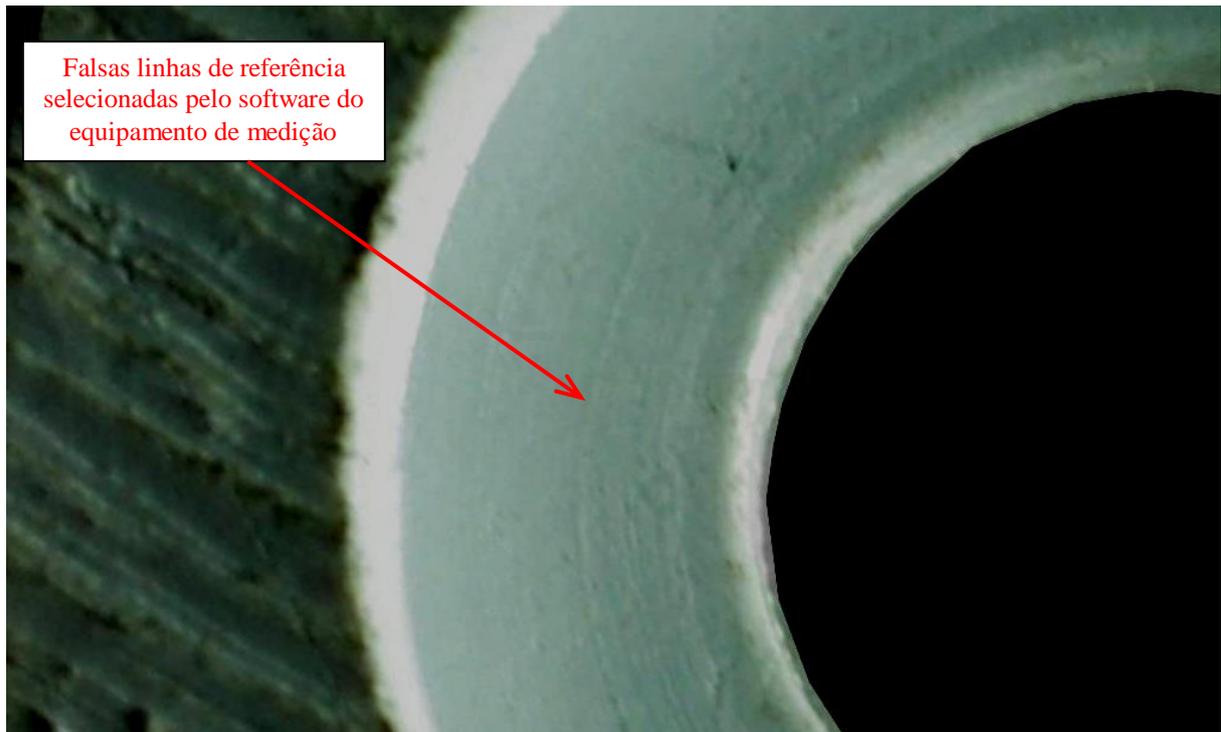


Figura 06: Detalhe da peça mostrando a presença imperfeições (falsas linhas) na região de medição

Sendo assim, ao indicar a linha de contorno, o operador não tinha a certeza de que estava medindo o ponto correto, pois o software do equipamento tridimensional óptico ajustava automaticamente outra linha de referência que era mais compatível e proporcionava maior clareza para a medição. Assim, o software do equipamento selecionava uma falsa linha e a variação da mensuração era inevitável.

- O equipamento de medição;

Devido a todos os fatores citados anteriormente como problemas para a medição, a escolha do equipamento de medição não foi das melhores.

Quando se utiliza um instrumento de medição por meio óptico, é necessário que todas as linhas de contorno da peça estejam bastante visíveis para evitar confusões no momento de selecioná-las para a medição.

Neste caso, além das linhas de contorno não serem visíveis, as mesmas se confundiam com outras linhas que não representavam a dimensão correta a ser mensurada.

Diante destes problemas, ficou muito claro a impossibilidade de medição desta cota com o equipamento tridimensional óptico, já que a peça não permitia a utilização do meio óptico para a medição, sendo necessário talvez um meio físico onde houvesse o contato entre a peça e o instrumento de medição.

Observações realizadas no Cliente

Como podemos observar na tabela 07, algo interessante aconteceu no estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) realizado no cliente. Isto porque diferentemente do que aconteceu no estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) do fornecedor, o R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) do cliente teve impacto somente pela Variação do Equipamento (79,19%), algo que não aconteceu no estudo realizado no fornecedor.

A variação da Repetitividade (ou variação do equipamento VE), quando o instrumento de medição é utilizado por um mesmo operador, medindo a mesma característica, várias vezes na mesma peça tem como principais causas:

- Variação da Peça;
- Variação do Instrumento de Medição;
- Variação do Padrão;
- Variação do Operador;
- Variação do Método;
- Variação do Meio e Outros.

E foi baseado nestas principais causas que a análise do sistema de medição do cliente transcorreu.

O primeiro passo para a análise da falha ocorrida no sistema de medição do cliente foi analisar a calibração do equipamento “Imicro” (micrômetro de diâmetros internos).

Após a verificação do selo de calibração, constatou-se que o equipamento estava devidamente calibrado e não necessitava aferição, logo esta causa foi descartada.

O método de medição dos operadores foi avaliado, e constatou-se que o método de medição utilizado para aquele instrumento de medição era o correto.

O meio de medição e o ambiente onde estavam sendo realizadas as medições também estavam adequados, logo restaram apenas 2 itens a serem avaliados e foram estes que determinaram o porquê da variação no resultado do estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) realizado no cliente. São eles:

- Variação do Operador;

Um pequeno ponto (0,005mm) foi suficiente para ajudar a alterar o resultado final no estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) do cliente.

Descobriu-se, em pesquisa com os operadores tanto no 1º quanto no 2º turno, que ambos não utilizavam a escala milesimal existente no Imicro.

Obs.: A resolução do equipamento de medição existe no cliente é de 0,005mm.

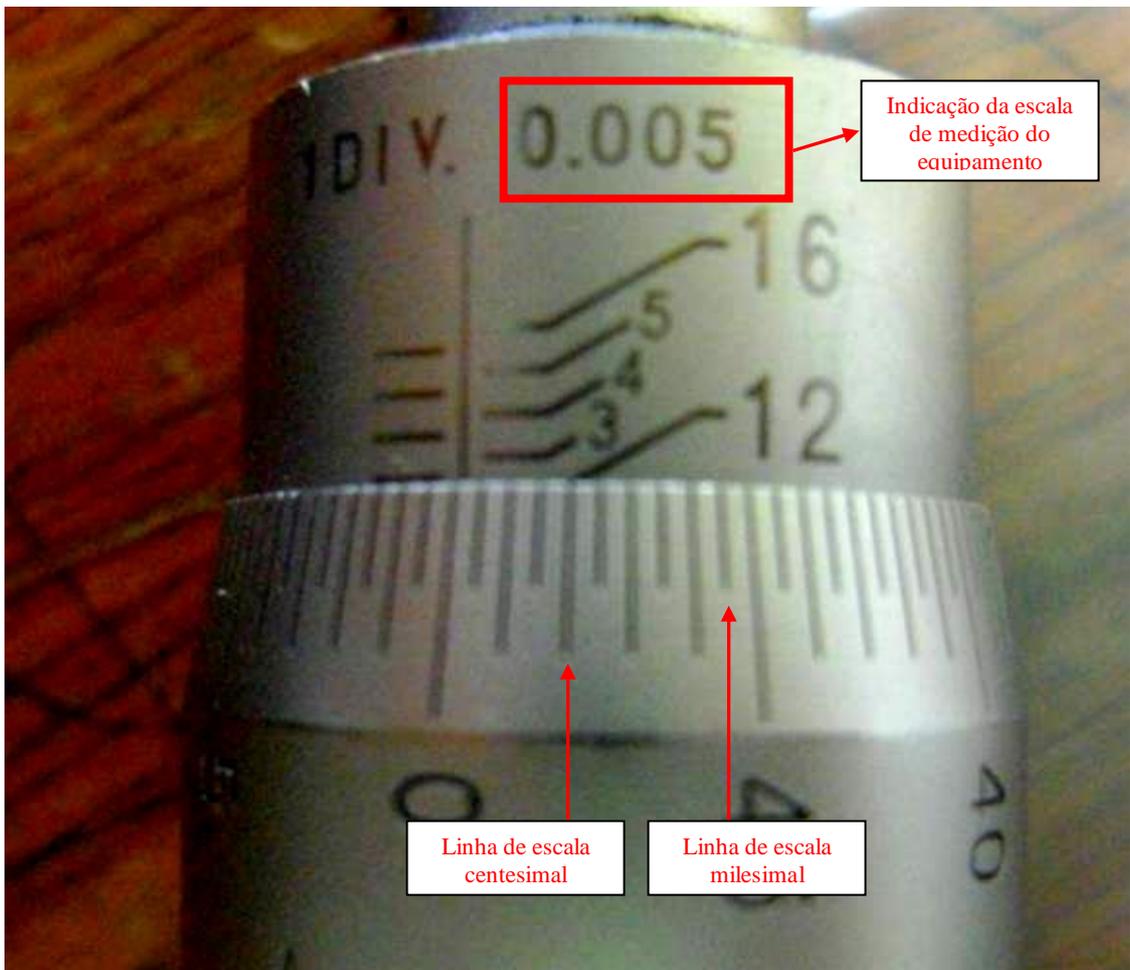


Figura 07: Escala de medição do equipamento Imicro

Logo, a diferença existente entre uma medição e outra, que poderia ser de no mínimo 0,005mm, poderia passar a 0,01mm pelo simples fato dos operadores efetuarem a leitura

incorreta no instrumento de medição, não utilizando a escala milesimal do equipamento de medição.

Para a resolução deste problema, um simples treinamento da utilização das escalas centesimal e milesimal do equipamento foi realizado com os operadores do 1º e 2º turno.

- Variação da Peça;

Após a realização do estudo, uma pergunta intrigante restou:

Como uma mesma medida, numa mesma peça pode variar tanto (até 0,06mm), sendo que se somado os erros de medição dos operadores, este não poderia ultrapassar 0,01mm?

Tabela 08 - Parte da tabela 04 com dados referentes à medição realizada no cliente de uma peça por um mesmo operador .

8	1	13,890
	2	13,950
	3	13,910

Fonte: O autor

E foi com o intuito de responder esta pergunta que um estudo histórico desta peça foi realizado no cliente.

Vários questionamentos foram realizados com pessoas que trabalham com este produto e dentre estes questionamentos surgiu um ponto que antes não era crítico para a análise na qual estava sendo realizado o estudo.

Mas qual é este item levantado?

OVALIZAÇÃO.

E foi baseado neste item que um novo estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) foi realizado no cliente, para verificar ou não, a presença de Ovalização nesta peça.

7.5. NOVO ESTUDO DE R & R DO CLIENTE

Conforme mencionado anteriormente, uma ovalização na peça era a principal suspeita do mal resultado de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) do cliente. Para tal verificação foi realizado um novo estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade), porém tomando os devidos cuidados para evitar que a ovalização impactasse novamente nos resultados.

Um único e simples cuidado foi tomado no momento de efetuar as medições:

Foi feito uma marca no instrumento de medição e outra nas mesmas peças medidas no último estudo com a cor vermelha. Assim, os operadores tinham uma referência para efetuar a medição no mesmo ponto todas às vezes.

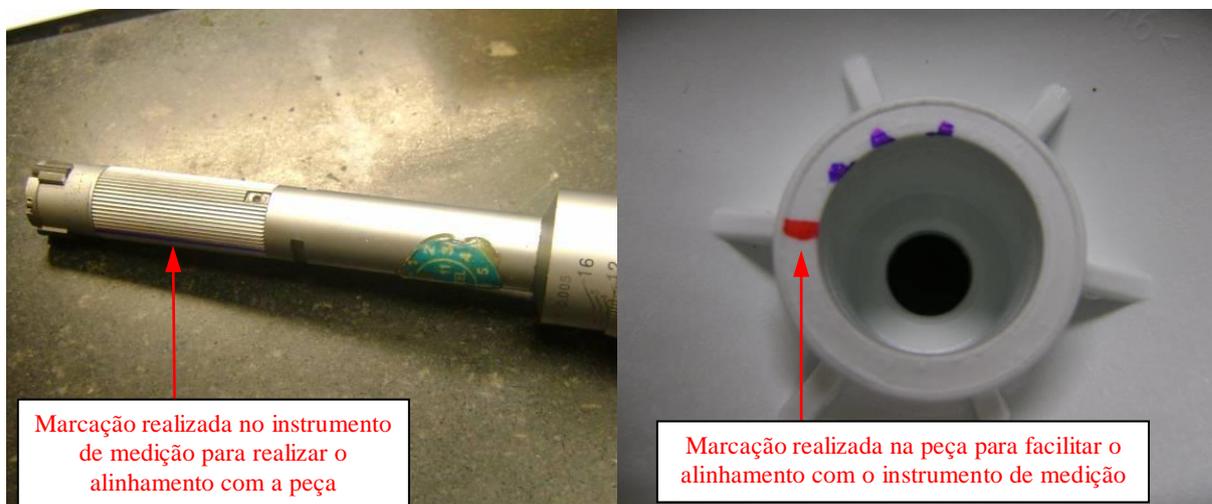


Figura 08: à esquerda: detalhe da marcação de referência feita no equipamento imicro. Á direita: detalhe da marcação feita nas peças

Após a nova medição, os dados obtidos foram plotados nas planilhas de cálculo e os resultados de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) seguem abaixo:

Tabela 09 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R do dispositivo de medição do Cliente (2ª medição)

Folha de Coleta de Dados para a Repetitividade e Reprodutibilidade do Dispositivo de Medição

Avaliador / Medição N°	Peças										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A 1	13,890	13,930	13,890	13,925	13,925	13,925	13,930	13,940	13,890	13,925	13,917
2	13,890	13,925	13,890	13,925	13,930	13,925	13,930	13,940	13,895	13,930	13,918
3	13,890	13,925	13,890	13,925	13,930	13,925	13,930	13,940	13,895	13,930	13,918
Média	13,890	13,927	13,890	13,925	13,928	13,925	13,930	13,940	13,893	13,928	$\bar{X}_a = 13,918$
Amplitude	0,000	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005	$\bar{R}_a = 0,002$
B 1	13,890	13,925	13,890	13,920	13,925	13,920	13,930	13,940	13,890	13,930	13,916
2	13,890	13,925	13,890	13,920	13,930	13,920	13,930	13,945	13,890	13,930	13,917
3	13,890	13,930	13,890	13,920	13,930	13,925	13,930	13,940	13,890	13,930	13,918
Média	13,890	13,927	13,890	13,920	13,928	13,922	13,930	13,942	13,890	13,930	$\bar{X}_b = 13,917$

Fonte: O autor

Conforme nos estudos anteriores, os itens na cor azul são referentes às mensurações do operador 1, e os itens marcados na cor rosa do operador 2. Observa-se neste caso que a variação na mensuração de uma mesma peça foi muito menor se comparado com estudo realizado anteriormente no cliente. Esta variação foi menor e pode ser reconfirmada com os dados contidos na tabela e no gráfico abaixo.

Tabela 10 - Tabela com medições de peças fora da especificação no cliente (2ª medição)

Relatório Dimensional - As células em Vermelho representam peças fora da especificação

Peças	Especificação		Máx.		Mín.					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Fonte: O autor

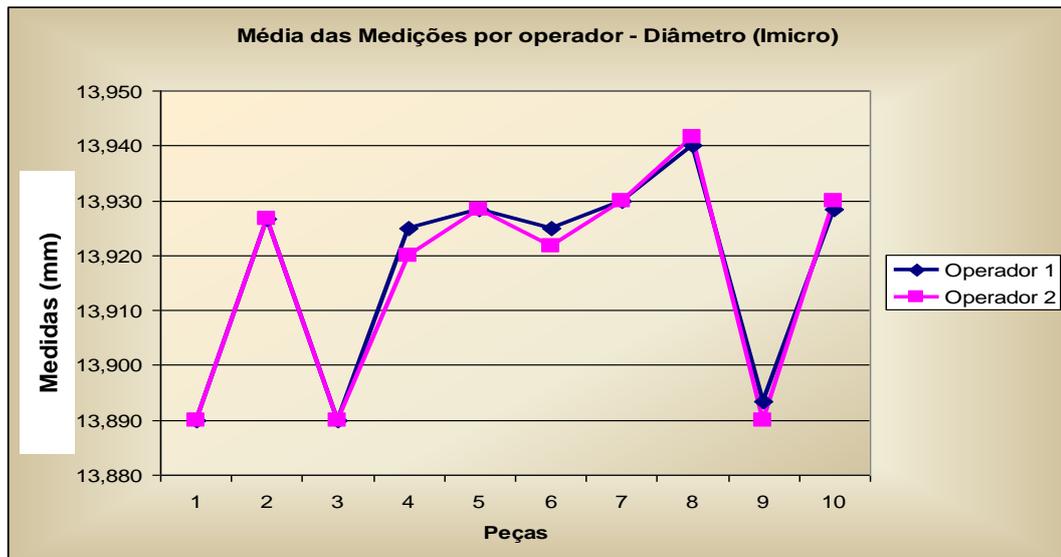


Gráfico 03: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o equipamento Imicro (2ª medição)

Conforme pode ser observado, o sistema de medição do cliente aprovou todas as peças que foram submetidas à mensuração e as curvas do gráfico entre o operador 1 e o operador 2 estão muito próximas, demonstrando que o sistema de medição é muito eficaz e os operadores também utilizam o mesmo método de medição em todas as amostras que lhe foram enviadas para a mensuração. Abaixo está a seqüência de cálculos de R & R.

Tabela 11 - Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente (2ª medição)

Análise na Unidade de Medição		% sobre a Variação Total (VT)							
Repetitividade => Variação do Equipamento (VE) $VE = \bar{\bar{R}} \times K_1$ $= 0,002 \times 3,05$ $= \mathbf{0,00610}$		$\%VE = 100 (VE / VT)$ $= 100 (0,0061 / 0,08262)$ $= \mathbf{7,38\%}$							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Nº Medições Repetidas</td> <td>K_1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4,56</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3,05</td> </tr> </table>		Nº Medições Repetidas	K_1	2	4,56	3	3,05		
Nº Medições Repetidas	K_1								
2	4,56								
3	3,05								
Reprodutibilidade => Variação entre Avaliadores (VA) $VA = \sqrt{(\bar{\bar{X}}_{DIF} \times K_2)^2 - (VE^2 (n \times r))}$ $= \sqrt{(0,0008 \times 3,65)^2 - (0,0061^2 / (10 \times 3))}$ $= \mathbf{0,00283}$		$\%VA = 100 (VA / VT)$ $= 100 (0,00283 / 0,08262)$ $= \mathbf{3,43\%}$							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Nº de Avaliadores</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>K_2</td> <td>3,65</td> <td>2,70</td> </tr> </table>		Nº de Avaliadores	2	3	K_2	3,65	2,70		
Nº de Avaliadores	2	3							
K_2	3,65	2,70							
Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R) $R\&R = \sqrt{VE^2 + VA^2}$ $= \sqrt{0,0061^2 + 0,00283^2}$ $= \mathbf{0,00672}$		$\%R\&R = 100 (R\&R / VT)$ $= 100 (0,00672 / 0,08262)$ $= \mathbf{8,14\%}$							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Peças</td> <td>K_3</td> </tr> </table>		Peças	K_3						
Peças	K_3								

Fonte: O autor

Assim, conforme pode ser observado na tabela 11, os resultados obtidos com o estudo no cliente foram excelentes após realizada a marcação em vermelho no “Imicro” e nas peças.

Assim, obteve-se os seguintes resultados.

- Variação do Equipamento = 7,38%
 - Variação d Avaliador / Operador = 3,43%
 - R & R = 8,14%
-
- E como as diretrizes para a aceitação da Repetitividade e Reprodutibilidade do instrumento (%R&R) são de que para erro abaixo de 10% - (*Sistema de Medição OK*)

8. UM NOVO PROBLEMA

Conforme verificado com os estudos anteriores, o equipamento Imicro, utilizado na Inspeção do cliente é o melhor equipamento existente entre fornecedor e cliente para a medição do diâmetro em questão. Mas, com o estudo acima, verificou-se também que somente a medição do diâmetro com o equipamento Imicro pode não garantir a confiabilidade na qualidade da peça em questão, pois, a mesma peça apresentou diâmetros diferentes com o primeiro estudo realizado no cliente. E isto significa que se operador mensurasse apenas uma vez a cota em questão, esta ainda poderia estar fora de especificação devido à presença de ovalização.

Resumindo: Com o problema de ovalização na peça, e apenas a medição em um ponto da mesma, a produção ainda pode ter problemas de qualidade com o produto. Diante disso, foi concluído que seria necessário um meio de medir ovalizações neste item, para melhorar o controle de qualidade do mesmo. E conforme Suga (2007, p.81), “[...] os medidores de três pontos não podem detectar furos ovais. Eles tendem a supor que todos os furos são redondos”. Então, faz-se necessário pensar em outro equipamento para realizar a medição de Ovalização.

8.1. PENSANDO EM UM NOVO EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO

Depois de definido a necessidade de outro equipamento para a medição de ovalização, foi realizado um estudo no cliente e no fornecedor para verificar quais instrumentos estariam disponíveis para serem utilizados.

Mas depois da verificação, constatou-se que nem cliente, nem fornecedor possuem equipamentos específicos para a medição de ovalização. O que se possuía em ambos, eram relógios comparadores, paquímetros, entre outros instrumentos de medição. E para a precisão que se pretendia para a medição e a dificuldade de posicionamento da peça para efetuar tal medição, verificou-se que seria necessário a construção de diversos dispositivos para efetuar tal medição.

Observação: A partir deste tópico chamaremos o problema “Ovalização” de “Falta de Circularidade”, pois as duas palavras referem-se ao mesmo tipo de problema.

Mesmo diante da dificuldade encontrada, foram pensados diversos dispositivos para se efetuar a medição de circularidade prevista.

Analisando todos os equipamentos disponíveis, o que supostamente apresentaria a melhor precisão, seria a utilização de um relógio comparador acoplado a um traçador de altura (graminho). Assim, a peça seria presa numa placa fixadora (parecida com uma placa de torno), e o relógio comparador seria posicionado no interior da peça. Ao fazer girar a peça, o relógio faria a leitura da diferença de circularidade.

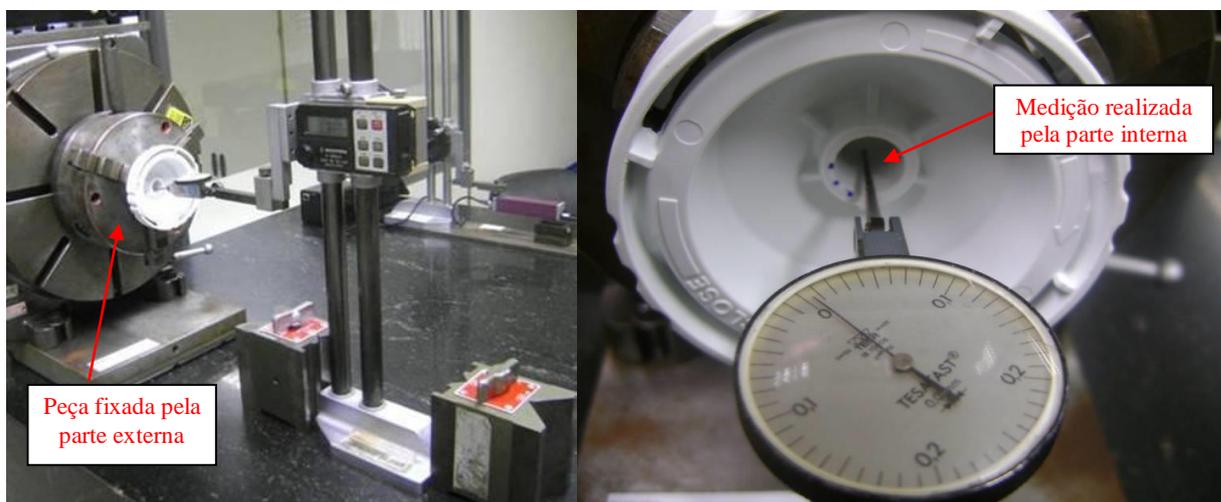


Figura 09: Montagem e utilização dos dispositivos para a medição de circularidade com relógio comparador

Mas, ao montar o dispositivo para a medição, verificou-se outro problema:

A peça seria fixada pela parte externa (conforme mostrado na figura 09), e a medição seria realizada na região interna da peça. Com isso, seria necessário, primeiramente garantir a concentricidade entre os diâmetros externo e interno, presentes na peça, para depois efetuar a medição de circularidade pelo diâmetro interno da peça.

O que acontece no caso acima, é que ao girar a peça, o erro de concentricidade (que não é importante nesta peça) se soma ao erro de circularidade, gerando assim um falso resultado de medição.

Com isso, a montagem de dispositivos para fixar a peça pela parte interna, tornou o processo de medição com este meio inviável devido ao custo e a imprecisão que o resultado obtido daria ao sistema.

8.2. A MÁQUINA DE MEDIR COORDENADAS (MMC) – “TRIDIMENSIONAL DE CONTATO”

Após, todas as dificuldades encontradas para mensurar a circularidade com o dispositivo pensado no tópico anterior, foi constatado que o cliente possuía uma Máquina de Medir Coordenadas (MMC) ou “Tridimensional de Contato”. A MMC do cliente se diferencia da MMC do fornecedor, por ser uma máquina de medir por meio de contato físico de uma ponta esférica de rubi com a peça a ser mensurada. No caso do fornecedor, o equipamento realiza a medição por meio óptico.

Foi verificado que este equipamento é capaz de mensurar circularidade apesar de sabermos que o melhor equipamento para se medir circularidade é um medidor de circularidade, semelhante ao da figura abaixo (à esquerda).



Medidor de Circularidade



MMC - Máquina de Medir Coordenadas

Figura 10: À esquerda: medidor de circularidade. À direita: Máquina de Medir Coordenadas

Segundo Suga (2007, p.200), “[...] a máquina de circularidade, ou medidor de circularidade é um instrumento dedicado a medir e analisar condições de falta de circularidade de peças redondas. Sendo desenvolvida como uma máquina dedicada, sua densidade de dados poderia chegar até 7200 pontos dentro de uma rotação, ou 20 pontos de dados por cada grau. Esse nível de alta densidade de dados separa a circularidade de todos os outros instrumentos de medição. A circularidade nunca foi um ponto forte de uma MMC, embora produza resultados a partir de números limitados de dados reunidos”.

No entanto, “As máquinas de circularidade não podem medir o tamanho”. Por exemplo: diâmetros internos ou externos. “[...] ela concentra nos desvios de forma exclusivamente”. Assim, para Suga (2007, p.200), “[...] os diâmetros não são para as máquinas de circularidade, ao contrário, a MMC os verifica melhor”.

Utilizando destes conceitos, foi pensado o seguinte:

Por que não utilizar o equipamento tridimensional para realizar as duas medições em questão: diâmetro e circularidade?

E como ferramenta de análise do equipamento de medição, método de medição dos avaliadores e peça, será utilizada também neste caso a ferramenta de análise R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade).

8.3. DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DE PONTOS PARA MEDIR A CIRCULARIDADE E O DIÂMETRO DA PEÇA EM QUESTÃO

Para Suga (2007, p.239), “Quantos pontos são necessários para medir um círculo?” é uma das muitas perguntas feitas por todos os operadores de MMC. Qualquer número maior que 3 muitas vezes é a resposta, mas esta pode não ser uma resposta adequada. A pergunta levantada é quantos, 7, 11, 25, ou mais”?

A resposta adequada para esta pergunta é: DEPENDE.

Para responder a esta pergunta é necessário realizar primeiramente um estudo da peça a ser mensurada, pois dependendo do tipo de material, tamanho do diâmetro a ser mensurado, processo de fabricação da peça, todos estes fatores influenciam no resultado da medição e conseqüentemente na quantidade de pontos necessários para se efetuar tal medição.

Sabe-se por experiência que quanto maior a quantidade de pontos utilizados para se realizar tal medição, maior a exatidão; mas para se definir a quantidade mínima de pontos para medição, geralmente faz-se um pequeno estudo estatístico para avaliar a Repetitividade do equipamento para mensurar uma mesma peça. Segundo Suga (2007, p.239), “[...] na maioria dos casos 7 a 11 pontos são adequados”.

8.4. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA PEÇA PARA A QUANTIDADE DE PONTOS

Especificamente nesta peça, verificou-se a presença de 6 nervuras de apoio na parede que forma o diâmetro de 13,92mm. Estas nervuras são importantes porque dão resistência à peça no momento da inserção da bucha sinterizada, evitando assim, que a parede que forma tal diâmetro se deforme ou sofra fissuras. Mas, por outro lado, em consulta com os projetistas desta peça, após o processo de injeção plástica deste item, o mesmo sofre diferentes tempos de resfriamento na região do diâmetro de 13,92mm devido à presença destas 6 nervuras. Assim, como a presença das nervuras representa uma maior quantidade de massa na peça, o tempo de resfriamento nesta região é maior do que nos pontos que não possuem as nervuras de apoio. Logo, supõe-se que a diferença de circularidade neste diâmetro tem por influência as nervuras de apoio.

Assim, para ajudar na definição da quantidade de pontos mínimos pensou-se no seguinte:

Realizar a medição de 12 pontos sendo, 6 pontos que tocam na região onde se encontram as nervuras e outros 6 pontos que tocam entre a posição das nervuras, para assim evidenciar a possibilidade de pontos máximos e mínimos neste diâmetro.

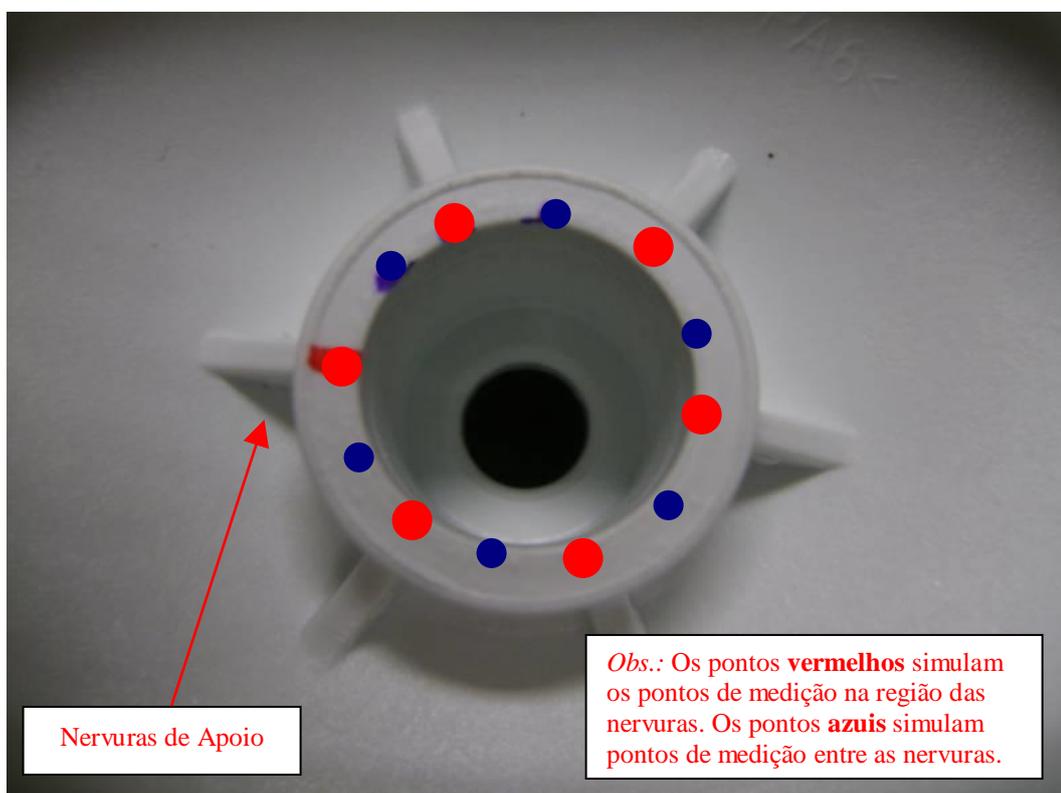


Figura 11: Detalhe da peça onde foi realizada a medição de diâmetro e circularidade

Assim, foi retirada aleatoriamente a peça número 10 e esta foi medida 5 vezes pelo mesmo operador, obtendo-se assim os seguintes resultados:

Tabela 12 – Resultado das medições utilizando-se 12 pontos de contato

	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5
Diâmetro	13,913	13,913	13,913	13,913	13,913
Circularidade	0,037	0,037	0,039	0,039	0,038

Fonte: o autor

Como pode ser visto na tabela anterior, a Repetitividade da medição de uma mesma peça com a utilização de 12 pontos para o diâmetro em questão foi excelente. Apesar da diferença de 0,002mm encontrada na circularidade, a peça em questão não exige esta precisão. Logo, a quantidade de pontos definida para o estudo de R & R do diâmetro e da circularidade com a Máquina de Medir por Coordenadas foi de: 12 pontos.

9. O ESTUDO DE R & R COM A MÁQUINA DE MEDIR COORDENADAS

O estudo a seguir, foi realizado por 2 operadores para manter a mesma condição de estudo já realizada anteriormente com os outros equipamentos. No entanto, os 2 operadores que realizaram a medição para este estudo não foram os inspetores de recebimento do cliente. Neste caso, os inspetores não possuem treinamento específico para utilizar a MMC (Máquina de Medir Coordenadas) e por isso, os 2 operadores que realizaram a medição foram 2 analistas da qualidade do cliente que possuem tal treinamento. Para tanto, foi apenas informado aos operadores que seriam necessários 12 pontos para efetuar a medição e que destes pontos, 6 deveriam estar entre as nervuras e os outros 6 entre as nervuras conforme indicado na figura 11.

Outra observação importante neste estudo é a da profundidade de medição. O desenho solicita que a medição seja feita no ponto mais profundo da peça. Neste caso, a medição no ponto mais profundo da peça não foi possível devido à utilização de uma esfera de contato de 3 mm de diâmetro. Assim sendo, ao invés de se realizar a medição no ponto mais profundo da peça (que seria a 18 mm de profundidade), todo o estudo de circularidade com o equipamento

MMC (Máquina de Medir Coordenadas) foi realizado no ponto mais profundo possível com a esfera utilizada. Nesse caso, o eixo Z do equipamento foi travado na profundidade de 16,40mm, desconsiderando assim, metade do diâmetro da esfera de contato (1,50mm), e mais 0,10mm para evitar o contato da esfera com o fundo da peça, e assim garantir que a esfera toque apenas na parede lateral do diâmetro.

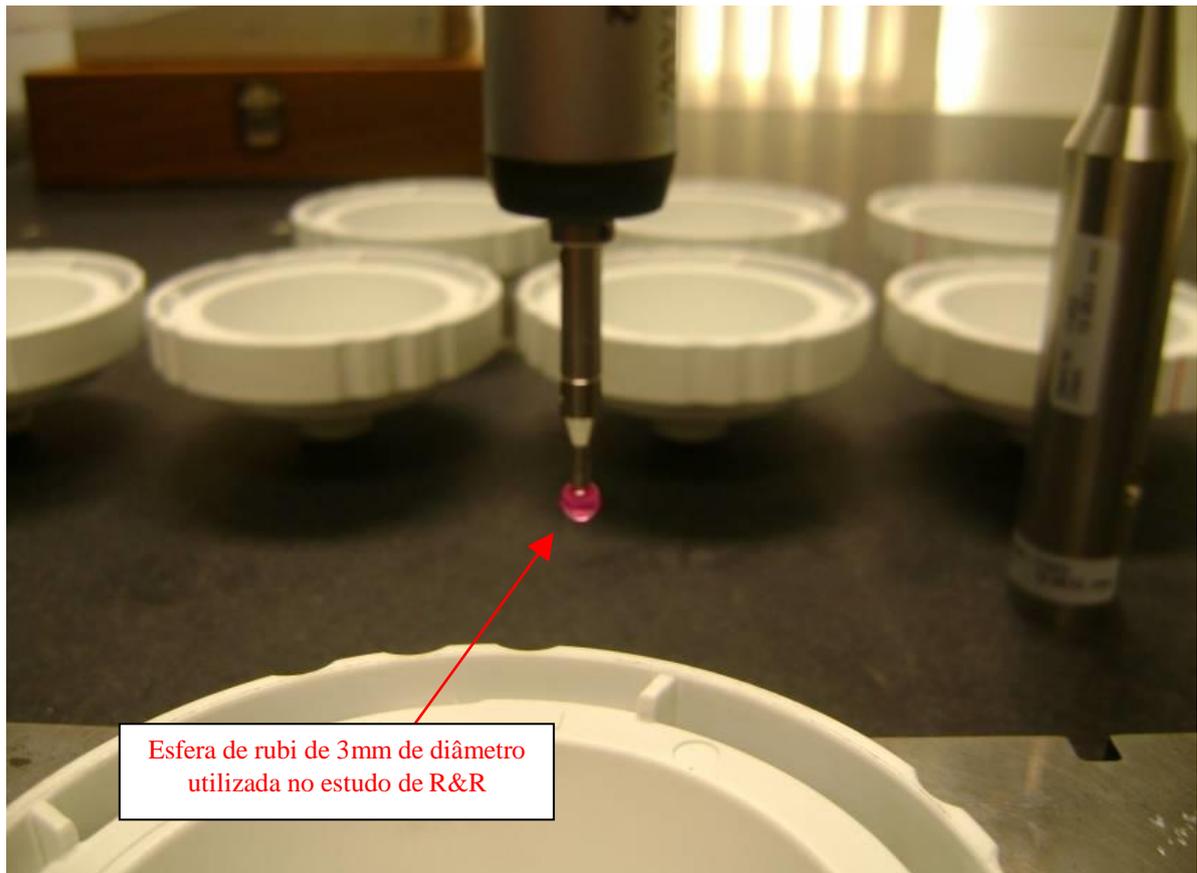


Figura 12: Esfera de rubi de 3 mm utilizada no estudo de R&R

O estudo foi realizado avaliando 2 medidas. Primeiro, o diâmetro da peça, e depois a sua circularidade, pois com apenas uma mensuração consegue-se obter os 2 resultados.

Após a realização do estudo, os seguintes resultados foram plotados nas planilhas de cálculo conforme se segue.

1º) R & R do diâmetro de $13,92^{+0,05}_{-0,05}mm$

Tabela 13 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R da Máquina de Medir Coordenadas – Avaliação do diâmetro de 13,92mm

Folha de Coleta de Dados para a Repetitividade e Reprodutibilidade do Dispositivo de Medição

Avaliador / Medição N°	Peças										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A 1	13,934	13,936	13,935	13,931	13,914	13,935	13,915	13,930	13,938	13,913	13,928
2	13,935	13,937	13,934	13,930	13,913	13,936	13,916	13,931	13,941	13,913	13,929
3	13,935	13,936	13,935	13,930	13,915	13,936	13,917	13,932	13,940	13,913	13,929
Média	13,935	13,936	13,935	13,930	13,914	13,936	13,916	13,931	13,940	13,913	$\bar{X}_2 = 13,929$
Amplitude	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	0,000	$\bar{R}_2 = 0,001$
B 1	13,931	13,932	13,931	13,929	13,912	13,933	13,911	13,923	13,940	13,909	13,925
2	13,932	13,934	13,933	13,927	13,910	13,934	13,908	13,927	13,939	13,910	13,925
3	13,933	13,933	13,933	13,927	13,910	13,935	13,910	13,931	13,938	13,912	13,926
Média	13,932	13,933	13,932	13,928	13,911	13,934	13,910	13,927	13,939	13,910	$\bar{X}_3 = 13,926$
Amplitude	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,008	0,002	0,003	$\bar{R}_3 = 0,003$
C 1											#DIV/0!

Fonte: O autor

Assim, os itens marcados na cor azul são referentes às mensurações do operador 1, e os itens marcados na cor rosa são referentes ao operador 2. Observamos neste caso que a variação na mensuração é mínima e se encontra na casa milesimal. Esta variação foi muito pequena e também pode ser observada na tabela 14, onde todas as peças mensuradas foram aprovadas pelo dispositivo de medição, algo que já havia acontecido com o equipamento de medição Imicro ou Micrômetro para Diâmetros Internos.

Obs.: As peças fora de especificação são marcadas em vermelho.

Tabela 14 - Tabela com medições de peças fora da especificação com a Máquina de Medir Coordenadas

Relatório Dimensional - As células em Vermelho representam peças fora da especificação

Especificação	13,920	Máx. 13,970				Mín. 13,870				
Peças	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medições operador 1										
Medições operador 2										

Fonte: O autor

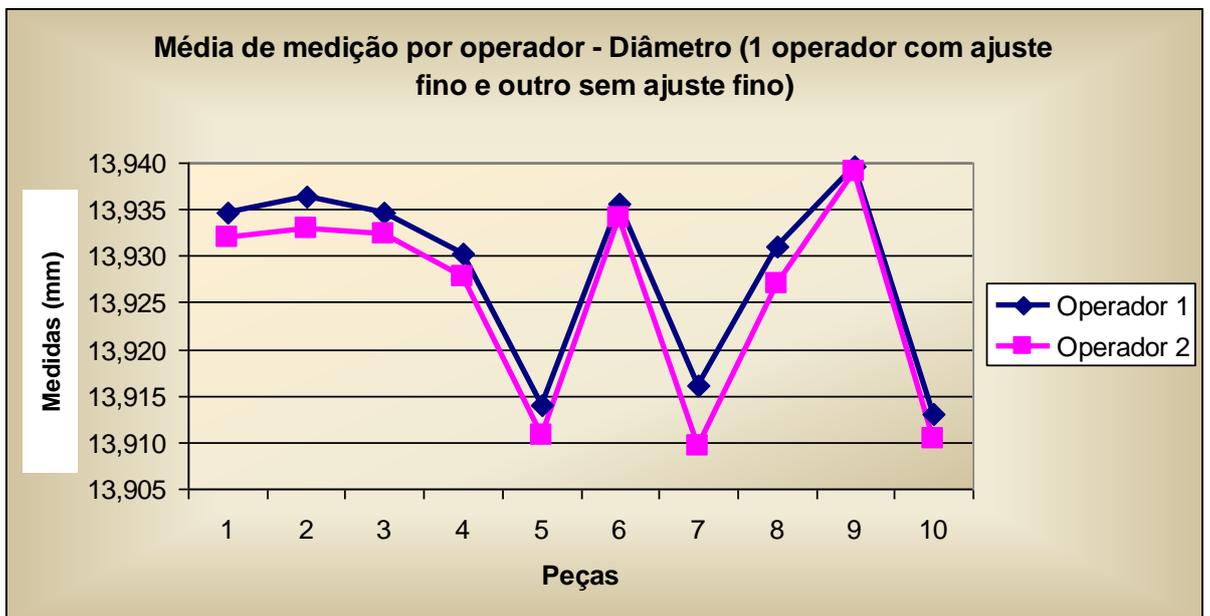


Gráfico 04: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o equipamento MMC – Máquina de Medir Coordenadas

Conforme pode ser observado, o Equipamento de Medição por Coordenadas foi muito eficiente na medição do Diâmetro em questão, pois o sistema aprovou todas as peças que foram submetidas à mensuração. O gráfico 04 acima, também mostra esta eficiência do sistema de medição, pois as curvas das médias de medição entre os 2 operadores também estão muito uniformes. Um pequeno detalhe, mas importante, é que as curvas apresentam uma

distância entre elas, praticamente constante (a curva do operador 2 está sempre abaixo da curva do operador 1). Esta diferença pode significar métodos de medição diferentes entre os operadores. Mas esta conclusão só pode ser obtida com a utilização da planilha de cálculos de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade). A seqüência do estudo pode ser observada e comprovada pela seqüência de cálculos de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) conforme abaixo:

Tabela 15 - Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente com a Máquina de Medir Coordenadas – Diâmetro de 13,92mm

Análise na Unidade de Medição		% sobre a Variação Total (VT)							
Repetitividade => Variação do Equipamento (VE) $VE = \bar{\bar{R}} \times K_1$ $= 0,0021 \times 3,05$ $= \mathbf{0,00641}$		$\%VE = 100 (VE / VT)$ $= 100 (0,00641 / 0,04654)$ $= \mathbf{13,76\%}$							
	<table border="1"> <tr> <td>N°Medições Repetidas</td> <td>K_1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4,56</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3,05</td> </tr> </table>	N°Medições Repetidas	K_1	2	4,56	3	3,05		
N°Medições Repetidas	K_1								
2	4,56								
3	3,05								
Reprodutibilidade => Variação entre Avaliadores (VA) $VA = \sqrt{(\bar{X}_{DF} \times K_2)^2 - (VE^2 / (n \times r))}$ $= \sqrt{(0,003 \times 3,65)^2 - (0,00641^2 / (10 \times 3))}$ $= \mathbf{0,01077}$		$\%VA = 100 (VA / VT)$ $= 100 (0,01077 / 0,04654)$ $= \mathbf{23,13\%}$							
n = n° de peças r = n° de medidas repetidas	<table border="1"> <tr> <td>N° de Avaliadores</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>K_2</td> <td>3,65</td> <td>2,70</td> </tr> </table>	N° de Avaliadores	2	3	K_2	3,65	2,70		
N° de Avaliadores	2	3							
K_2	3,65	2,70							
Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R) $R\&R = \sqrt{VE^2 + VA^2}$ $= \sqrt{0,00641^2 + 0,01077^2}$ $= \mathbf{0,01253}$		$\%R\&R = 100 (R\&R / VT)$ $= 100 (0,01253 / 0,04654)$ $= \mathbf{26,92\%}$							
	<table border="1"> <tr> <td>Peças</td> <td>K_2</td> </tr> </table>	Peças	K_2						
Peças	K_2								

Fonte: O autor

2º) R & R da circularidade do diâmetro de 13,92^{+0,05}mm

Uma observação importante a ser feita neste momento, é que nesta peça não há especificação de circularidade. Esta necessidade de verificá-la somente surgiu após a realização dos estudos de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) demonstrados anteriormente. Apenas para efeito de comparação dos resultados obtidos, foi utilizada uma especificação de 0,10mm, levando em consideração a tolerância superior e inferior do diâmetro de 13,92mm que se somadas resultam em 0,10mm.

Tabela 16 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R da Máquina de Medir Coordenadas – Avaliação da circularidade do diâmetro de 13,92mm

Folha de Coleta de Dados para a Repetitividade e Reprodutibilidade do Dispositivo de Medição

Avaliador / Medição N°	Peças										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A 1	0,024	0,047	0,026	0,034	0,035	0,047	0,036	0,040	0,027	0,037	0,035
2	0,025	0,045	0,026	0,034	0,038	0,050	0,039	0,037	0,027	0,037	0,036
3	0,024	0,047	0,025	0,035	0,038	0,047	0,037	0,038	0,027	0,039	0,036
Média	0,024	0,046	0,026	0,034	0,037	0,048	0,037	0,038	0,027	0,038	$\bar{X}_a = 0,036$
Amplitude	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003	0,003	0,003	0,003	0,000	0,002	$\bar{R}_a = 0,002$
B 1	0,028	0,048	0,023	0,030	0,036	0,042	0,036	0,042	0,023	0,039	0,035
2	0,025	0,043	0,027	0,034	0,039	0,050	0,035	0,034	0,025	0,041	0,035
3	0,029	0,055	0,020	0,035	0,039	0,050	0,035	0,040	0,030	0,035	0,037
Média	0,027	0,049	0,023	0,033	0,038	0,047	0,035	0,039	0,026	0,038	$\bar{X}_b = 0,036$
Amplitude	0,004	0,012	0,007	0,005	0,003	0,008	0,001	0,008	0,007	0,006	$\bar{R}_b = 0,006$

Fonte: O autor

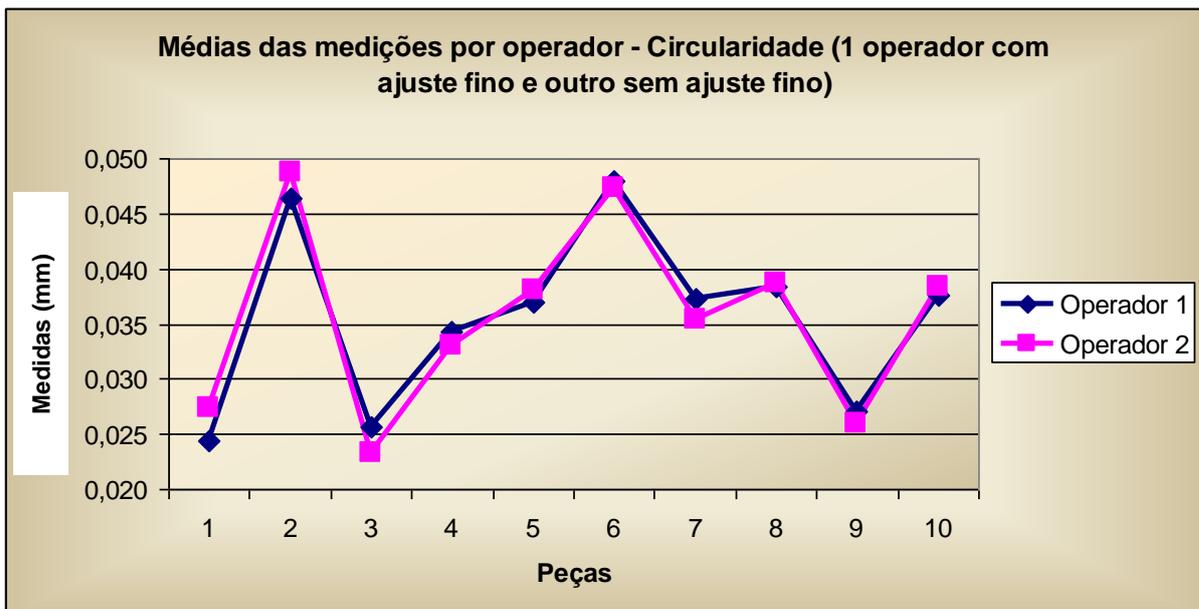


Gráfico 05: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o equipamento MMC – Máquina de Medir Coordenadas – Circularidade de diâmetro de 13,92mm

Os itens marcados na cor azul são referentes às mensurações do operador 1, e os itens marcados na cor rosa são referentes ao operador 2. Observamos neste caso que a variação na mensuração também é mínima e se encontra na casa milesimal. Mas, a conclusão da eficiência do equipamento no estudo só pode ser obtida com a utilização da planilha de cálculos de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade). A seqüência do estudo pode ser observada e comprovada pela seqüência de cálculos de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) conforme abaixo:

Tabela 17 - Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente com a Máquina de Medir Coordenadas – Circularidade do Diâmetro de 13,92mm

Análise na Unidade de Medição		% sobre a Variação Total (VT)							
Repetitividade => Variação do Equipamento (VE) $VE = \bar{\bar{R}} \times K_1$ $= 0,004 \times 3,05$ $= \mathbf{0,01220}$		$\%VE = 100 (VE / VT)$ $= 100 (0,0122 / 0,03946)$ $= \mathbf{30,91\%}$							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº Medição Repetida</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>4,56</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3,05</td> </tr> </tbody> </table>	Nº Medição Repetida	K_1	2	4,56	3	3,05		
Nº Medição Repetida	K_1								
2	4,56								
3	3,05								
Reprodutibilidade => Variação entre Avaliadores (VA) $VA = \sqrt{(\bar{X}_{dif} \times K_1)^2 - (VE^2 / (n \times r))}$ $= \sqrt{(0 \times 3,65)^2 - (0,0122^2 / (10 \times 3))}$ $= \mathbf{0}$		$\%VA = 100 (VA / VT)$ $= 100 (0 / 0,03946)$ $= \mathbf{0,00\%}$							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº de Avaliadores</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K_1</td> <td>3,65</td> <td>2,70</td> </tr> </tbody> </table>	Nº de Avaliadores	2	3	K_1	3,65	2,70		
Nº de Avaliadores	2	3							
K_1	3,65	2,70							
<small>n - nº de peças</small> <small>r - nº de medições repetidas</small>									
Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R) $R\&R = \sqrt{VE^2 + VA^2}$ $= \sqrt{(0,0122^2 + 0^2)}$ $= \mathbf{0,01220}$		$\%R\&R = 100 (R\&R / VT)$ $= 100 (0,0122 / 0,03946)$ $= \mathbf{30,91\%}$							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Peça</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Peça	K_1						
Peça	K_1								

Fonte: O autor

Antes de realizarmos as conclusões, vejamos o resultado dos estudos de R & R realizados com a Máquina de Medir por Coordenadas:

Tabela 18 – Resultados do estudo de R & R do diâmetro e da circularidade com a Máquina de Medir Coordenadas

R & R do Diâmetro de 13,92mm		R & R da Circularidade	
Variação do Equipamento	13,76%	Variação do Equipamento	30,91%
Variação do Avaliador	26,13%	Variação do Avaliador	0,00%
R & R	26,92%	R & R	30,91%

Fonte: o autor

Conforme podemos observar na tabela acima, os resultados de R & R, avaliaram o sistema de medição como:

- Sistema Aceitável para a medição do Diâmetro devido o erro de 26,92%

Erro de 10% a 30% - (*Sistema pode ser aceitável baseado na importância da aplicação, custo do instrumento de medição, custo de reparos, etc.*)

- Sistema de medição NÃO OK devido o erro de 30,91%

Erro acima de 30% - (*Sistema de medição necessita de melhoria. Fazer todo esforço em identificar os problemas e atuar corretivamente*).

9.1. PRIMEIRAS CONCLUSÕES DOS ESTUDOS DE R&R COM O EQUIPAMENTO DE MEDIR COORDENADAS

Como explicar o resultado anterior se realizando uma análise rápida nos valores encontrados, tudo indicava a um resultado muito bom?

De fato, as máquinas de medir coordenadas apresentam um ponto fraco para medição: a circularidade. “Em geral, as máquinas MMC’s não são máquinas para verificação de forma” (SUGA, 2007, p.200). Mesmo assim, uma observação importante durante o ato de mensuração entre os operadores 1 e 2 foi identificada, e acredita-se que com ele, o resultado final foi prejudicado.

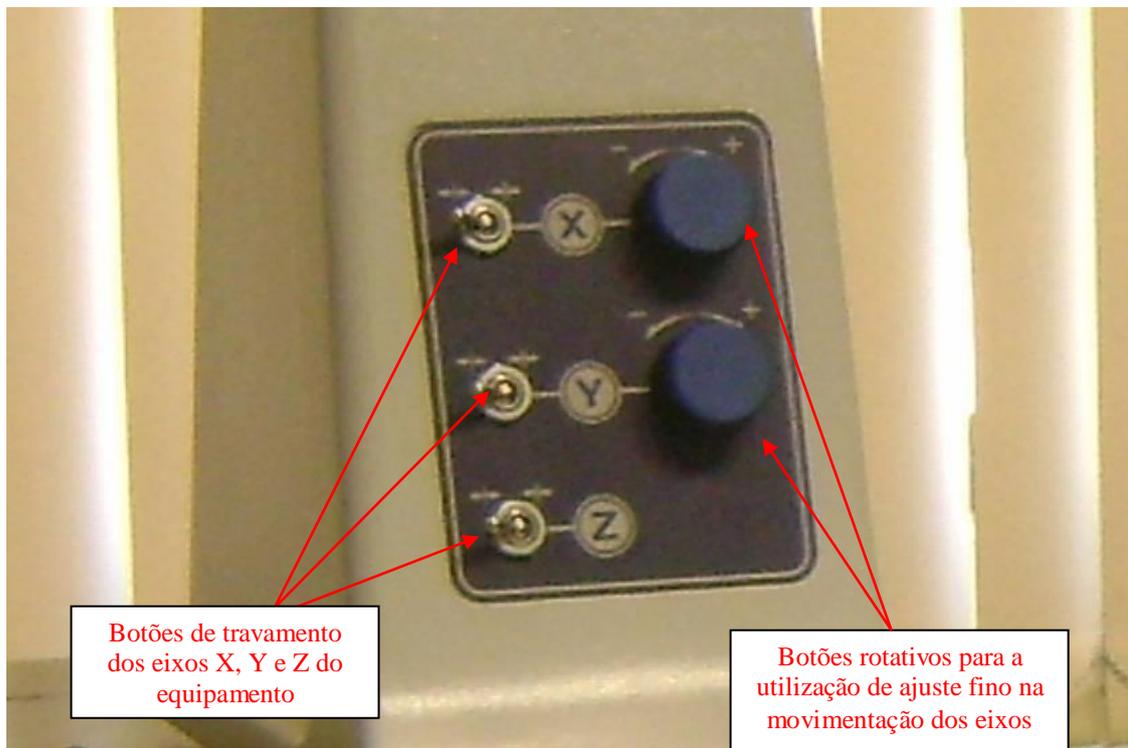
Durante a mensuração, observou-se que o operador 1 utilizou em todas as mensurações um recurso disponível no equipamento de medição por coordenadas. Ele é o recurso de ajuste fino. Este recurso permite que todos os eixos do equipamento sejam travados e com um leve giro no botão rotativo do eixo, o equipamento desloca-se vagarosamente na direção do eixo em que o botão estiver sendo girado.

Por outro lado, o operador 2 não utilizou este recurso em nenhum momento das mensurações. Neste caso, o operador 2 travou apenas, o eixo Z para manter a profundidade de

medição garantida (16,40mm) e tocou com a ponta esférica manualmente em todas as posições da parede da peça.

Com a utilização do recurso ajuste fino, a precisão da medição pode ser aumentada já que a pressão de contato da esfera com a peça varia muito com o método manual de medição utilizado pelo operador 2.

Assim, foi identificada uma possível causa para a diferença encontrada entre os operadores nas mensurações realizadas acima.



Botões de travamento dos eixos X, Y e Z do equipamento

Botões rotativos para a utilização de ajuste fino na movimentação dos eixos

Figura 13: Detalhe da Máquina de Medir Coordenadas destacando o recurso de ajuste fino

9.2. NOVO ESTUDO DE R&R COM A MÁQUINA DE MEDIR POR COORDENADAS

Para a realização do novo estudo de R & R, foi solicitado ao operador 2 nova mensuração das peças, apenas com a alteração no método de medição. Foi solicitado ao operador 2 que ele utilizasse o recurso de ajuste fino em todas as medições realizadas. Com isso obtivemos os seguintes resultados após as mensurações:

1º) R & R do diâmetro de $13,92^{+0,05}_{-0,05}mm$

Tabela 19 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R da Máquina de Medir Coordenadas – Avaliação do diâmetro de 13,92mm (2ª medição)

Folha de Coleta de Dados para a Repetitividade e Reprodutibilidade do Dispositivo de Medição

Avaliador / Medição N°	Peças										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A 1	13,934	13,936	13,935	13,931	13,914	13,935	13,915	13,930	13,938	13,913	13,928
2	13,935	13,937	13,934	13,930	13,913	13,936	13,916	13,931	13,941	13,913	13,929
3	13,935	13,936	13,935	13,930	13,915	13,936	13,917	13,932	13,940	13,913	13,929
Média	13,935	13,936	13,935	13,930	13,914	13,936	13,916	13,931	13,940	13,913	$\bar{X}_a = 13,929$
Amplitude	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	0,000	$\bar{R}_a = 0,001$
B 1	13,933	13,935	13,934	13,930	13,912	13,935	13,914	13,928	13,940	13,911	13,927
2	13,933	13,936	13,933	13,930	13,913	13,934	13,915	13,929	13,939	13,911	13,927
3	13,934	13,936	13,933	13,929	13,913	13,935	13,916	13,931	13,938	13,912	13,928
Média	13,933	13,936	13,933	13,930	13,913	13,935	13,915	13,929	13,939	13,911	$\bar{X}_b = 13,927$
Amplitude	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001	$\bar{R}_b = 0,001$

Fonte: O autor

Os itens marcados na cor azul são referentes às mensurações do operador 1, e os itens marcados na cor rosa são referentes ao operador 2. Observamos neste caso que a variação na mensuração do operador 2 (Amplitude) diminuiu muito em relação à medição anterior. Conforme comprovado anteriormente, todas as peças mensuradas foram aprovadas pelo dispositivo de medição, algo que já havia acontecido com o equipamento de medição Imicro ou Micrômetro para Diâmetros Internos.

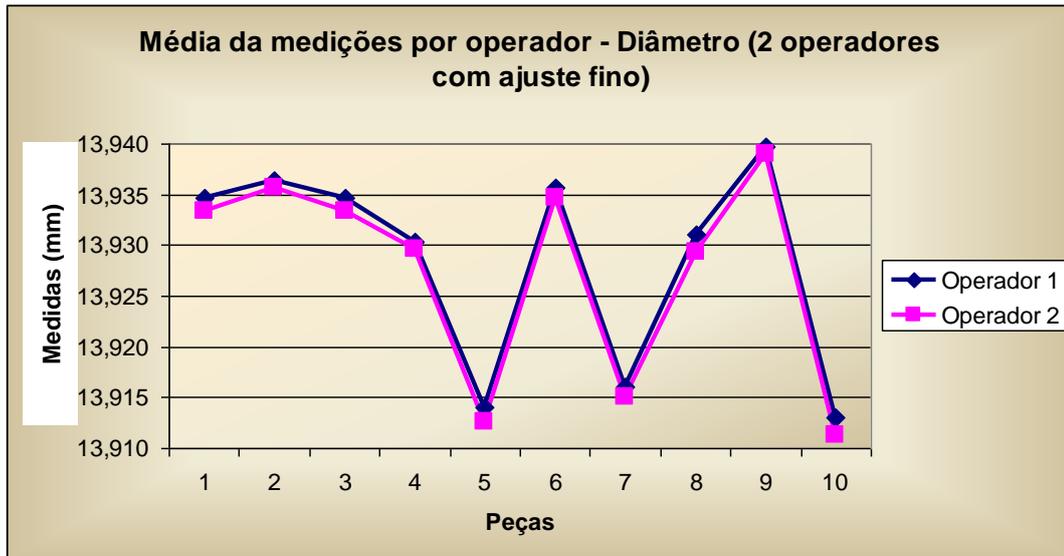


Gráfico 06: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o equipamento MMC – Máquina de Medir Coordenadas – Diâmetro de 13,92mm (2ª medição)

A diferença entre as curvas dos gráficos entre os operadores 1 e 2 também diminuiu muito, mostrando que a variável “ajuste fino”, tinha grande influência no sistema de medição.

A seqüência do estudo pode ser observada e comprovada pela seqüência de cálculos de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) conforme abaixo:

Tabela 20 - Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente com a Máquina de Medir Coordenadas – Diâmetro de 13,92mm (2ª medição)

Análise na Unidade de Medição		% sobre a Variação Total (VT)							
Repetitividade => Variação do Equipamento (VE) $VE = \bar{\bar{R}} \times K_1$ $= 0,0014 \times 3,05$ $= \mathbf{0,00427}$		$\%VE = 100 (VE / VT)$ $= 100 (0,00427 / 0,0444)$ $= \mathbf{9,62\%}$							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Nº Medições Repetidas</td> <td>K_1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4,56</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3,05</td> </tr> </table>		Nº Medições Repetidas	K_1	2	4,56	3	3,05		
Nº Medições Repetidas	K_1								
2	4,56								
3	3,05								
Reprodutibilidade => Variação entre Avaliadores (VA) $VA = \sqrt{(\bar{\bar{X}}_{DF} \times K_2)^2 - (VE^2 / (n \times r))}$ $= \sqrt{(0,0011 \times 3,65)^2 - (0,00427^2 / (10 \times 3))}$ $= \mathbf{0,00406}$		$\%VA = 100 (VA / VT)$ $= 100 (0,00406 / 0,0444)$ $= \mathbf{9,15\%}$							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Nº de Avaliadores</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>K_2</td> <td>3,65</td> <td>2,70</td> </tr> </table>		Nº de Avaliadores	2	3	K_2	3,65	2,70		
Nº de Avaliadores	2	3							
K_2	3,65	2,70							
Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R) $R\&R = \sqrt{VE^2 + VA^2}$ $= \sqrt{(0,00427^2 + 0,00406^2)}$ $= \mathbf{0,00589}$		$\%R\&R = 100 (R\&R / VT)$ $= 100 (0,00589 / 0,0444)$ $= \mathbf{13,27\%}$							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Peças</td> <td>K_3</td> </tr> </table>		Peças	K_3						
Peças	K_3								

Fonte: O autor

2º) R & R da circularidade do diâmetro de 13,92⁺0,05₋mm

Tabela 21 - Tabela de Coleta de Dados para o R & R da Máquina de Medir Coordenadas – Avaliação da circularidade do diâmetro de 13,92mm (2ª medição)

Folha de Coleta de Dados para a Repetitividade e Reprodutibilidade do Dispositivo de Medição

Avaliador / Medição N°	Peças										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A 1	0,024	0,047	0,026	0,034	0,035	0,047	0,036	0,040	0,027	0,037	0,035
2	0,025	0,045	0,026	0,034	0,038	0,050	0,039	0,037	0,027	0,037	0,036
3	0,024	0,047	0,025	0,035	0,038	0,047	0,037	0,038	0,027	0,039	0,036
Média	0,024	0,046	0,026	0,034	0,037	0,048	0,037	0,038	0,027	0,038	$\bar{X}_a = 0,036$
Amplitude	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003	0,003	0,003	0,003	0,000	0,002	$\bar{R}_a = 0,002$
B 1	0,025	0,048	0,025	0,034	0,036	0,048	0,036	0,040	0,027	0,039	0,036
2	0,025	0,045	0,027	0,034	0,039	0,050	0,037	0,037	0,027	0,039	0,036
3	0,026	0,047	0,025	0,035	0,039	0,050	0,037	0,037	0,028	0,039	0,036
Média	0,025	0,047	0,026	0,034	0,038	0,049	0,037	0,038	0,027	0,039	$\bar{X}_b = 0,036$
Amplitude	0,001	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,003	0,001	0,000	$\bar{R}_b = 0,002$

Fonte: O autor

Observamos também neste caso uma melhora muito significativa na variação encontrada na mensuração do operador 2. A variação encontrada na Média das Amplitudes passou de 0,006mm para 0,002mm.

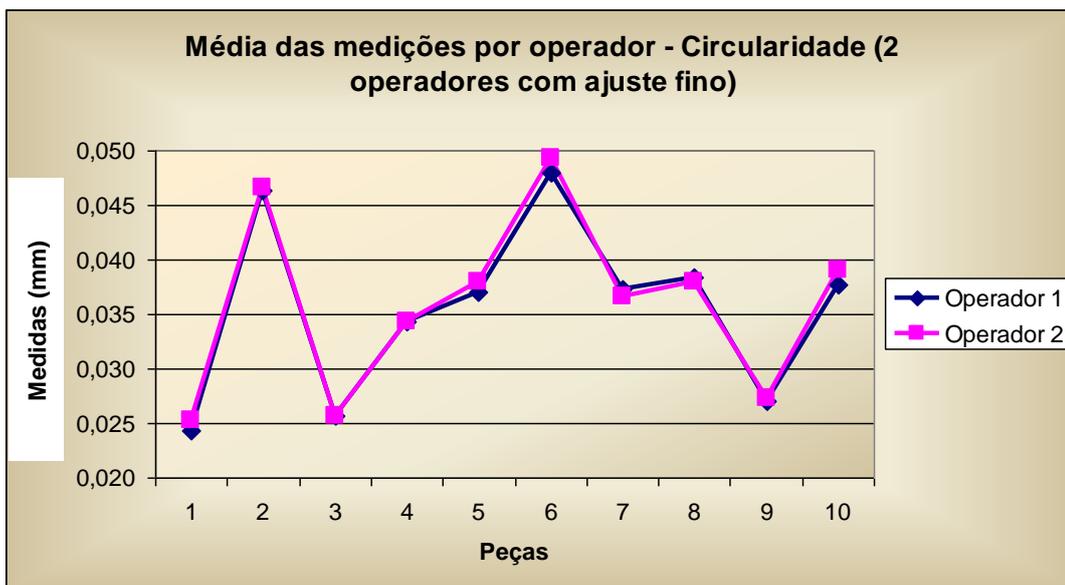


Gráfico 07: Gráfico das médias das medições realizadas pelo cliente com o equipamento MMC – Máquina de Medir Coordenadas – circularidade do diâmetro de 13,92mm (2ª medição)

O gráfico acima, também mostra uma aproximação das curvas entre o operador 1 e o operador 2.

A seqüência do estudo pode ser observada e comprovada pela seqüência de cálculos de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) conforme abaixo:

Tabela 22 - Tabela dos resultados de variação do equipamento, do avaliador e o resultado do R & R do Cliente com a Máquina de Medir Coordenadas – circularidade do diâmetro de 13,92mm (2ª medição)

Análise na Unidade de Medição		% sobre a Variação Total (VT)							
Repetitividade => Variação do Equipamento (VE) $VE = \bar{R} \times K_1$ $= 0,0018 \times 3,05$ $= \mathbf{0,00549}$		$\%VE = 100 (VE / VT)$ $= 100 (0,00549 / 0,03902)$ $= \mathbf{14,07\%}$							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NºMedições Repetidas</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>4,56</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3,05</td> </tr> </tbody> </table>	NºMedições Repetidas	K_1	2	4,56	3	3,05		
NºMedições Repetidas	K_1								
2	4,56								
3	3,05								
Reprodutibilidade => Variação entre Avaliadores (VA) $VA = \sqrt{(\bar{X}_{DF} \times K_2)^2 - (VE^2 / (n \times r))}$ $= \sqrt{(0,0004 \times 3,65)^2 - (0,00549^2 / (10 \times 3))}$ $= \mathbf{0,00122}$		$\%VA = 100 (VA / VT)$ $= 100 (0,00122 / 0,03902)$ $= \mathbf{3,14\%}$							
n = nº de peças r = nº de medidas repetidas	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº de Avaliadores</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K_2</td> <td>3,65</td> <td>2,70</td> </tr> </tbody> </table>	Nº de Avaliadores	2	3	K_2	3,65	2,70		
Nº de Avaliadores	2	3							
K_2	3,65	2,70							
Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R) $R\&R = \sqrt{VE^2 + VA^2}$ $= \sqrt{0,00549^2 + 0,00122^2}$ $= \mathbf{0,00562}$		$\%R\&R = 100 (R\&R / VT)$ $= 100 (0,00562 / 0,03902)$ $= \mathbf{14,42\%}$							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Peças</th> <th>K_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Peças	K_2						
Peças	K_2								

Fonte: O autor

Antes de realizarmos as conclusões, vejamos o resultado dos estudos de R & R realizados com a Máquina de Medir Coordenadas após a alteração no método de Medição do Operador 2.

Tabela 23 – Resultados do estudo de R & R do diâmetro e da circularidade com a Máquina de Medir Coordenadas após alteração no método de medição do operador 2

R & R do Diâmetro de 13,92mm		R & R da Circularidade	
Varição do Equipamento	9,62%	Varição do Equipamento	14,07%
Varição do Avaliador	9,15%	Varição do Avaliador	3,14%
R & R	13,27%	R & R	14,42%

Fonte: O autor

E assim, conforme se pode observar na tabela acima, após a alteração do método de medição do operador 2, os resultados de R & R, avaliaram o sistema de medição como:

- Sistema Aceitável para a medição do Diâmetro e da Circularidade devido o erro de 13,27% e 14,42% respectivamente.

Erro de 10% a 30% - (Sistema pode ser aceitável baseado na importância da aplicação, custo do instrumento de medição, custo de reparos, etc.)

O resultado de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) melhorou muito com a simples alteração no método de medição de um dos operadores. Isto significa, que apesar do equipamento de medição não ser o melhor equipamento para a realização da medição da circularidade da peça; devido à necessidade de verificação deste desvio, o custo de um equipamento medidor de circularidade ser alto e não aplicável a outros componentes que a empresa trabalha; o sistema de medição é confiável em suas medições, garante uma boa Repetitividade e Reprodutibilidade nas medições e pode ser aceitável para a medição tanto do diâmetro quanto da circularidade do componente / peça em questão.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como princípio, apresentar um estudo completo e detalhado, utilizando uma ferramenta estatística (R & R) para a verificação dos sistemas de medição de um item a ser controlado num determinado fornecedor e no seu cliente.

Com as análises realizadas, podem ser verificadas mudanças significativas nos métodos de controle existentes entre fornecedor e cliente.

Como primeira parte, conclui-se que o equipamento tridimensional óptico existente no fornecedor não garante confiabilidade de medição para o item em questão, sendo necessário a utilização de outro meio de medição para inspecionar a peça em condições especiais. Com isso, o fornecedor deverá adquirir o equipamento Imicro (micrômetro para medição de diâmetros internos), que conforme os estudos realizados no desenvolvimento deste trabalho garante confiabilidade de medição para a cota em questão (diâmetro de 13,92mm).

Conforme o mesmo estudo, verificou-se que o equipamento Imicro (micrômetro para diâmetros internos) é capaz de mensurar apenas diâmetros, sendo incapaz de medir ovalizações, que conforme foi detectado pelo estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade), passa a ser um importante item de controle para a garantia da qualidade final do produto do cliente.

Melhorias como a comunicação e no repasse dos documentos de inspeção entre fornecedor e cliente aconteceram visto a desatualização e a falta de documentos de controle presentes no fornecedor.

Visto a necessidade de controlar um novo item detectado pelo estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade), foi necessário elaborar um novo método de controle para este problema e corrigir o mesmo. Com a mesma ferramenta de análise (R & R), definiu-se que o equipamento tridimensional de contatos (MMC – Máquina de Medir Coordenadas), seria utilizado para controlar o problema de ovalizações. Mas, o mesmo terá de ser utilizado observando-se alguns detalhes como: a quantidade de pontos a ser utilizado na medição, a profundidade de medição e a utilização de ajuste fino no método de medição.

Apesar do equipamento tridimensional de contatos (MMC – Máquina de Medir Coordenadas) não ser o melhor equipamento, o mesmo pode ser utilizado devido à sua importância dentro do processo de controle da peça, pois o custo de um equipamento especial para a medição de circularidade é alto e inviável para as empresas em questão por estas não possuírem outros itens com a necessidade de controle de circularidade / ovalização.

O tempo de medição utilizando o equipamento tridimensional de contatos (MMC – Máquina de Medir Coordenadas) também torna o procedimento inicialmente inviável devido à sua localização ser distante do recebimento de matéria-prima do cliente (200 metros) e do tempo de ajuste para a medição da peça. Enquanto com o “Imicro” o operador gasta 10 segundos para mensurar uma peça. A mesma peça leva 2 minutos e 30 segundos com o equipamento tridimensional de contatos (MMC – Máquina de Medir Coordenadas), sem considerar o tempo de deslocamento do inspetor da área de recebimento até à sala de metrologia, onde o equipamento tridimensional de contatos (MMC – Máquina de Medir Coordenadas) está localizado (tempo aproximado de 5 minutos).

Diante das dificuldades encontradas para este processo definiu-se que na Inspeção de Recebimento do cliente e na inspeção de qualidade final do fornecedor será utilizado o equipamento Imicro (Micrômetro para Diâmetros Internos) de 3 pontos. Mas, para isso será necessário medir o mesmo diâmetro em 3 pontos diferentes, e caso seja detectado alguma diferença ou variação entre os diâmetros medidos, a peça deve ser medida no equipamento tridimensional de contatos (MMC – Máquina de Medir Coordenadas) para a definição da circularidade e do diâmetro médio da peça em questão. Para este controle, uma especificação de circularidade deverá ser elaborada pelo departamento de Projetos do cliente visto a necessidade de controle deste item.

Em suma, conclui-se que com a simples utilização de uma ferramenta estatística plotada em planilhas de Excel, é possível obter análises vitais para os itens de controle em grandes empresas. E não apenas isto, com a realização de um estudo de R & R (Repetitividade e Reprodutibilidade) é possível descobrir até novos problemas de qualidade nos itens de controle, e com isso reestruturar todo o sistema de controle para tal item, caso este esteja desatualizado.

REFERÊNCIAS

- ALBERTAZZI, Armando – Fundamentos da Metrologia Científica e Industrial – Barueri – SP: Manole, 2008. ISBN 978-85-204-2116-1
- CAMPOS, Vicente Falconi . Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia . Nova Lima – MG: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004. ISBN 85-98254-03-7
- CAMPOS, Vicente Falconi . TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês) . Belo Horizonte – MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1992 (Rio de Janeiro: Bloch Ed.). ISBN 85-85447-03-6
- http://www.aedb.br/seget/artigos06/411_CEP_SEGET.pdf - acessado dia 03/04/2010
- <http://www.defi.isep.ipp.pt/~fpm/qi/msa.pdf> - acessado dia 03/04/2010
- <http://www.latoqualitas.com.br/artigos/artigo6.pdf> - acessado dia 03/04/2010
- <http://www.mantenimentomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/Medi%C3%A7%C3%A3o.pdf> - acessado dia 03/04/2010
- <http://www.photonita.com.br/downloads/Artigo%20Metrologia%20e%20Instrumentacao.pdf> - acessado dia 27/04/2010
- <http://www.spmet.pt/conceitos%20basicos.pdf> – acessado dia 03/04/2010
- Manuais de Análise do Sistema de Medição da Philips do Brasil . 2006
- Manual da Análise do Sistema de Medição e Controle de Processo . Consultoria e Acessoria DE LUCCA
- SLACK, Nigel; CHAMBERS Stuart; JOHNSTON, Robert – Administração da produção 3ª edição – São Paulo: Atlas, 2009 – Título Original: Operations Management – Tradução: Henrique Luiz Corrêa. ISBN 978-85-224-5353-5
- SOUZA, Gleicione Aparecida Dias Bagne; *et al.* Manual de normalização: Trabalhos científicos – Varginha – MG , UNIS , 2005

- SUGA, Nobuo – Metrologia Dimensional: A ciência da medição – São Paulo – SP: Vox Editora Ltda, 2007 – Título Original: Metrology Handbook – The Science of measurement – Tradução: Vânia de Mathia Campanhão. ISBN 978-0-9556133-0-2

