



FACULDADE HORIZONTINA

PABLO RUBENS STAMM

**ANÁLISE SITUACIONAL E PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO DE UM
PROCESSO DE INSPEÇÃO E CONTROLE DIMENSIONAL DE PEÇAS
USINADAS**

Horizontina-RS

2016

FACULDADE HORIZONTINA
Curso de Engenharia Mecânica

PABLO RUBENS STAMM

**ANÁLISE SITUACIONAL E PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO DE UM
PROCESSO DE INSPEÇÃO E CONTROLE DIMENSIONAL DE PEÇAS
USINADAS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: João Batista Soares Coelho, Mestre.

Horizontina-RS

2016

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Análise Situacional e Proposta para Otimização de um Processo de Inspeção e Controle
Dimensional de Peças Usinadas”**

Elaborada por:

Pablo Rubens Stamm

**Aprovado em: 10/11/2016
Pela Comissão Examinadora**

**Mestre, João Batista Soares Coelho
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Mestre, Rafael Luciano Dalcin
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Especialista, Valmir Vilson Beck
FAHOR – Faculdade Horizontina**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família que sempre me apoiou, dando-me forças para continuar na busca de meus objetivos.

Em especial quero agradecer a minha esposa Leoni, a minha filha Sabrina e ao meu filho Anderson, pela paciência e incentivo nos momentos distantes de estudos e trabalhos.

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me concedido força e coragem para lutar e vencer os desafios durante a jornada acadêmica.

A todos os professores e colegas que contribuíram na minha formação acadêmica, pessoal e profissional.

Em especial ao professor orientador Mestre, João Batista Soares Coelho, pelo incentivo, orientação e paciência na elaboração deste trabalho.

A minha família que teve paciência e compreensão nos momentos em que eu estava dedicado com os afazeres do curso.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.” (José de Alencar).

RESUMO

Com a globalização dos negócios e o acirramento da concorrência, a qualidade dos produtos, a competitividade e a produtividade estão fortemente relacionadas, forçando as organizações a aperfeiçoarem seus processos e serviços, tornando-os mais robustos e confiáveis. Para assegurar que somente os produtos que atendem as especificações de projeto cheguem aos clientes, as empresas utilizam o controle da qualidade, que tem como objetivo estabelecer os métodos de controle necessários à garantia da qualidade do produto. Desta forma, a confiabilidade nos resultados obtidos do sistema de medição é de extrema importância, e sua validação pode ser testada e comprovada por técnicas estatísticas. Neste contexto, as principais anomalias ocorridas no processo produtivo da empresa em estudo, estão relacionadas à dificuldade em atender a especificação dimensional no processo de usinagem do friso frontal das conexões metálicas, que são montadas nas extremidades de mangueiras hidráulicas. O objetivo deste trabalho foi analisar o processo atual de inspeção e medição de peças usinadas, visando aperfeiçoar o sistema de medição aplicável ao controle dimensional do friso frontal das conexões metálicas produzidas na empresa metalúrgica M.R.STAMM<DA localizada na cidade de Horizontina RS, que fornece soluções em usinagem de peças e serviços de ferramentaria. A metodologia aplicada foi a pesquisa-ação, composta por coleta de dados na fonte do problema, análise e proposta de melhoria para os casos identificados como potenciais modos de falha, e possíveis anomalias de processo. A fundamentação teórica para o desenvolvimento do estudo está baseada no manual AIAG (Grupo de Ação da Indústria Automotiva), que determina quais as ferramentas mais adequadas para condução do estudo. Os benefícios obtidos com as melhorias implementadas tonaram o processo de fabricação e medição robustos, com maior qualidade e confiabilidade nos resultados encontrados, proporcionando para empresa redução do índice de não conformidade e quantidade de retrabalho, aumentando a competitividade e a credibilidade da empresa frente aos concorrentes e clientes.

Palavras-chave: Controle da qualidade. Análise do sistema de medição. Processo robusto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação, causas comuns e causas especiais.	21
Figura 2 - Imagem de erros sistemáticos e erros aleatórios.	24
Figura 3 - Tendência.	25
Figura 4 - Linearidade.	26
Figura 5 - Repetitividade.	27
Figura 6 - Reprodutibilidade.	28
Figura 7 - Modelos de paquímetros.	30
Figura 8 - Modelos de micrômetros.	31
Figura 9 - Modelos de relógio comparador e base magnética.	31
Figura 10 - Repetitividade e Reprodutibilidade	33
Figura 11 - Carta de médias superpostas.	33
Figura 12 - Carta de médias não superpostas.	34
Figura 13 - Carta de amplitudes superpostas.	34
Figura 14 - Carta de amplitudes não superpostas.	35
Figura 15 - Gráfico de dispersão.	35
Figura 16 - Carta de erros.	36
Figura 17 - Histograma normalizado.	36
Figura 18 - Imagem da conexão 38H5103 com detalhes do friso.	43
Figura 19 - Fotografias do processo atual de medição.	43
Figura 24 - Histograma.	53
Figura 25 - Carta de média e amplitude.	53
Figura 26 - Resultados numéricos para avaliação da capacidade.	54
Figura 27 - Carta de controle de médias utilizando dispositivo.	58
Figura 28 - Carta de controle de amplitudes utilizando dispositivo.	58
Figura 29 - Carta de controle de erros utilizando dispositivo.	59
Figura 30 - Histograma utilizando dispositivo.	60
Figura 31 - Carta de média e amplitude utilizando dispositivo.	61
Figura 32 - Resultados numéricos para avaliação da capacidade utilizando dispositivo.	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fórmulas para cálculo de R&R de um dispositivo de medição.	37
Quadro 2 - Critérios para aprovação de R&R.	38
Quadro 3 - Critérios para aprovação da capacidade.....	40
Quadro 4 - Ações em função da comparação dos índices de Cp e Cpk.	40
Quadro 5 - Relação e causas de itens que apresentaram não conformidades.....	42
Quadro 6 - Medições do friso frontal.	48
Quadro 7 - Resultados numéricos para avaliação de R&R.	49
Quadro 8 - Resultados da medição de trinta peças do friso frontal.	52
Quadro 9 - Medições do friso frontal utilizando dispositivo.....	56
Quadro 10 - Resultados numéricos para avaliação de R&R utilizando dispositivo.....	57
Quadro 11 - Resultado da medição de trinta peças utilizando dispositivo.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABDI** - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
- AIAG** - Grupo de Ação da Indústria Automotiva (*Automotive Industry Action Group*)
- ANOVA** - Análise de Variância
- CEP** - Controle Estatístico do Processo
- CEQ** - Controle Estatístico da Qualidade
- CNC** - Comando Numérico Computadorizado
- C_p** - Índice de Capacidade do Processo
- C_{pk}** - Índice de Capacidade Real do Processo
- CQ** - Controle da Qualidade
- IQA** - Instituto da Qualidade Automotiva
- LIC** - Limite Inferior de Controle
- LIE** - Limite Inferior Especificado
- LSC** - Limite Superior de Controle
- LSE** - Limite Superior Especificado
- MSA** - Análise dos Sistemas de Medição (*Measurement Systems Analysis*)
- PPM** - Partes-por-milhão
- R&R** - Repetitividade e Reprodutibilidade
- VA** - Variação entre Avaliadores (reprodutibilidade)
- VE** - Variação do Equipamento (repetitividade)
- VP** - Variação da Peça
- VT** - Variação Total

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.4 JUSTIFICATIVA	14
1.5 OBJETIVO GERAL	14
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 CONCEITOS DE QUALIDADE	16
2.2 EVOLUÇÃO DA QUALIDADE	17
2.2.1 A era da inspeção.....	17
2.2.2 Era do controle estatístico.....	18
2.2.3 Era da qualidade total.....	18
2.3 MÉTODOS DE CONTROLE.....	18
2.3.1 Inspeção	19
2.3.1.1 Inspeção 100%.....	19
2.3.1.2 Inspeção amostral	19
2.3.2 Controle estatístico de processo (CEP).....	20
2.3.2.1 Causas comuns	20
2.3.2.2 Causas especiais	20
2.3.2.3 Cartas de controle	22
2.4 SISTEMAS DE MEDIÇÃO	22
2.5 O PROCESSO DE MEDIÇÃO	23
2.5.1 Variações no processo de medição	23
2.6 PROPRIEDADES ESTATÍSTICAS DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO.....	24
2.6.1 Variação da localização.....	24
2.6.1.1 Exatidão	24
2.6.1.2 Tendência.....	25
2.6.1.3 Linearidade	26
2.6.2 Variação da dispersão	27
2.6.2.1 Repetitividade.....	27

2.6.2.2 Reprodutibilidade	28
2.7 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	29
2.7.1 Paquímetro	30
2.7.2 Micrômetro.....	30
2.7.3 Relógio comparador	31
2.8 ANÁLISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	32
2.8.1 Diretrizes para determinação da repetitividade e reprodutibilidade – R&R.....	32
2.8.1.1 Análise gráfica dos resultados	33
2.8.1.1.1 Carta de médias	33
2.8.1.1.2 Carta de amplitudes	34
2.8.1.1.3 Gráfico de dispersão	35
2.8.1.1.4 Carta de erros.....	35
2.8.1.1.5 Histograma normalizado	36
2.8.1.2. Análise numérica dos resultados	37
2.9 CAPABILIDADE DO PROCESSO	38
2.9.1 Indicador de Cp e Cpk	38
2.9.2 Verificação dos índices de capacidade	39
3 METODOLOGIA.....	41
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	41
3.2 LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS PROBLEMAS DE NÃO-CONFORMIDADES	42
3.3 DEFINIÇÃO DAS PEÇAS E PROCESSO UTILIZADO PARA O ESTUDO	42
3.4 ESTUDO DE REPETITIVIDADE & REPRODUTIBILIDADE	44
3.4.1 Procedimento detalhado da sequência adotada para o estudo.....	44
3.5 PROPOSTAS DE MELHORIA PARA O PROCESSO	46
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
4.1 ESTUDO DE R&R PARA DIMENSÃO DA PROFUNDIDADE DO FRISO FRONTAL	48
4.1.1 Carta de médias	49
4.1.2 Carta de amplitudes	50
4.1.3 Carta de erros	51
4.2 ESTUDO DE CAPABILIDADE DO PROCESSO.....	51
4.2.1 Estudo da capacidade na dimensão da profundidade do friso	51
4.2.1.1 Representações gráficas da capacidade do processo.....	52
4.2.1.1.1 Histograma	52

4.2.1.1.2 Cartas de controle de média e amplitude.....	53
4.2.1.2 Resultados dos cálculos da capacidade do processo	54
4.2.1.2.1 Índice de capacidade potencial do processo. (Cp)	54
4.2.1.2.2 Índice de capacidade do processo. (Cpk).....	55
4.3 ANÁLISES DOS RESULTADOS ATUAIS DO R&R E DA CAPABILIDADE DO PROCESSO	55
4.3.1 Análise do estudo de R&R	55
4.3.1.1 Pontos identificados na análise do estudo de R&R	55
4.3.2 Análise do estudo de capacidade do processo	56
4.4 ESTUDO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CAPABILIDADE DO PROCESSO, REALIZADO APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS	56
4.4.1 Estudo do sistema de medição	56
4.4.1.1 Carta de Médias	57
4.4.1.2 Carta de amplitudes	58
4.4.1.3 Carta de erros.....	58
4.4.2 Estudo da capacidade do processo	59
4.4.2.1 Histograma	60
4.4.2.2 Cartas de controle de média e amplitude.....	60
4.5 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	62
CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

A competitividade e a produtividade, aliadas a qualidade do produto de uma empresa, são fatores indispensáveis para que as organizações busquem sua sustentabilidade no mundo empresarial. Os processos utilizados para fabricação e controle da garantia da qualidade dos produtos somente serão efetivos, se as informações analisadas forem confiáveis e consistentes, papel esse que cabe a metrologia.

As organizações devem estar preparadas para mudanças tecnológicas e organizacionais, que ocorrem com muita rapidez. Para sobreviver às mudanças é necessário ter foco na qualidade, visando basicamente à satisfação dos clientes e a racionalização dos processos produtivos, que conseqüentemente contribuem para o aumento da produtividade.

O presente trabalho aborda a utilização de ferramentas da qualidade, que auxiliem o departamento da qualidade para realizar uma análise do sistema atual, propondo melhorias nos processos utilizados. Pode-se, assim, desenvolver um novo processo que permite inovações e melhorias relacionadas às inspeções e medições em peças usinadas, proporcionando maior qualidade e produtividade, tornando a empresa mais competitiva.

1.1 TEMA

Este trabalho tem como foco principal analisar a situação atual de um processo de inspeção e medição, propondo melhorias para otimização do processo de peças usinadas em uma empresa metalúrgica de pequeno porte, aplicando as ferramentas da qualidade, de análise de sistema de medição e estudo de capacidade de processo, que estão referenciadas no manual AIAG.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema delimita-se no processo de inspeção e medição da profundidade do friso frontal de uma conexão metálica utilizada para conectar mangueiras hidráulicas. Considerando que há diversas ferramentas da qualidade, neste estudo, para identificar a situação atual e também a situação do processo após as melhorias, foram aplicadas as ferramentas de análise do sistema de medição e de estudo de capacidade do processo.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A qualidade de um processo de usinagem depende essencialmente da repetitividade dimensional das peças e da tecnologia aplicada para detectar estas variações quando as mesmas ocorrem durante o processo. As frequências de inspeções, métodos de controle e sistema de medição das peças são definidas de acordo com as necessidades determinadas pelo projeto, ou seja, de acordo com a complexidade do processo de fabricação, criticidade de aplicação ou montagem das peças nos produtos finais.

O sucateamento de peças ou a incapacidade de padronização de um processo produtivo influenciam diretamente na frequência de inspeção e na quantidade de peças inspecionadas por lote produzido, ou seja, um número determinante para garantir qualidade e produtividade. Estes por sua vez, são fatores importantes à serem pesquisados e analisados, pois quando definidos sem saber qual a realidade das informações obtidas, estes controles podem estar em um nível de frequência muito baixo ou elevado que, por consequência, afetam os resultados organizacionais.

1.4 JUSTIFICATIVA

Este trabalho foi realizado na empresa metalúrgica M.R.STAMM<DA, usinagem e ferramentaria localizada na cidade de Horizontina, justifica-se pela necessidade de analisar o processo de inspeção e controle dimensional de peças usinadas, que são fabricadas na empresa.

A utilização das ferramentas da qualidade para análise deste processo possibilita a padronização dos procedimentos necessários para medição de peças usinadas. A forma de análise tem seu início com a verificação do processo atual, onde as inspeções são realizadas conforme previamente especificadas para cada tipo de operação a ser executada na empresa estudada.

1.5 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar o processo atual de inspeção e medição de peças usinadas, visando aperfeiçoar o sistema de medição aplicável ao controle dimensional do friso frontal das conexões metálicas produzidas pela empresa.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Através de uma análise crítica do processo aplicado a algumas peças fabricadas na empresa, focam-se os seguintes objetivos específicos:

- Análise do sistema de medição aplicado através do estudo de repetitividade e reprodutibilidade;
- Realizar estudo de capacidade do processo a fim de obter informação sobre o nível de variabilidade estatística do processo;
- Analisar possibilidade de implementar dispositivos e instrumentos de medição no processo, facilitando a realização das inspeções e medições das peças;
- Propor melhorias para as anomalias identificadas, melhorando a qualidade dos processos, aspirando o aumento da qualidade do produto final, da produtividade e da competitividade da empresa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura possui papel importante na elaboração de um trabalho científico, nesta seção estão apresentados os conceitos e definições que proporcionam o embasamento teórico necessário sobre o tema, servindo como fundamento e base para realização deste trabalho.

2.1 CONCEITOS DE QUALIDADE

As principais definições sobre qualidade conhecidas no ambiente corporativo e descritas na literatura foram conceituadas pelos gurus da qualidade. Dentre eles destacam-se Joseph Juran, Edwards Deming e Philip Crosby.

Juran (1998) apresenta duas definições relevantes para qualidade. A primeira define que qualidade são aquelas características do produto que atendem as necessidades dos clientes e, portanto, promovem a satisfação destes com o produto adquirido. A segunda definição, um pouco mais rígida, consiste na ausência de deficiências. Juran também classifica os custos da não qualidade, ou seja, os custos de não fazer certo da primeira vez. Para Juran a linguagem do dinheiro era essencial na sensibilização da alta gerencia.

Outra contribuição importante de Juran (1998) é a classificação dos custos da qualidade em três tipos:

- Custos das Falhas classificadas como: falhas internas e falhas externas. Os custos relacionados às falhas internas ocorrem quando o produto ainda não chegou ao cliente e todo trabalho de recuperação é realizado na empresa. Já os custos relacionados às falhas externas são contabilizados quando o produto já foi entregue ao cliente e por algum motivo, seja necessário algum retrabalho, com isso, além dos custos do retrabalho em si, perde-se a credibilidade que podem gerar perdas em futuros negócios.
- Custos de Avaliação: devem incluir os custos relacionados às inspeções, testes em processo, auditorias de conformidade, etc.
- Custos da prevenção: devem incluir os custos relacionados ao planejamento, controle e avaliação de fornecedores, além dos treinamentos em técnicas de controle de qualidade.

Deming (1990) entende que qualidade são melhorias contínuas dos processos com avaliação permanente através de controles estatísticos. Estas melhorias possibilitam ganhos significativos no custo do produto, tornando a empresa mais competitiva, proporcionando

aumento da produtividade, transformando desperdícios em ganhos de processo para aumentar a qualidade e confiabilidade do produto ou serviço final.

O mesmo autor ainda contribui ao considerar necessário transformar a administração da empresa. Segundo esse autor uma má administração é responsável por 85% dos problemas de qualidade, pois ocorrem por erros sistêmicos relacionados a processos deficientes, e somente 15% dos problemas de qualidade estão relacionados a erros humanos.

Para Crosby (1999) qualidade significa conformidade aos requisitos e, segundo o mesmo autor, o único padrão para o de desempenho deve ser o “zero defeito” já na primeira execução. Dessa forma, a qualidade é vista como um investimento para a empresa, com redução dos custos através da melhoria da qualidade na prevenção de falhas durante a execução dos processos.

2.2 EVOLUÇÃO DA QUALIDADE

Em um conceito acadêmico, não é possível falar de Inspeção do Processo e Controle Estatístico de Processo sem falar de qualidade. A qualidade teve início na Revolução Industrial, com a concepção das linhas de produção seriadas de Henry Ford, porém de uma forma discreta e sem levar em consideração a satisfação dos clientes.

A qualidade tornou-se um dos mais importantes fatores de decisão dos consumidores na seleção de produtos e serviços que competem entre si. O fenômeno é geral, independente do fato de o consumidor ser um indivíduo, uma organização industrial, uma loja de varejo, ou um programa militar de defesa. Conseqüentemente, compreender e melhorar a qualidade é um fator chave que conduz ao sucesso, crescimento e a uma melhor posição de competitividade de um negócio. A melhor qualidade e o emprego bem sucedido da qualidade como parte integrante da estratégia geral da empresa produzem retorno substancial sobre o investimento (MONTGOMERY, 2004, p. 1).

2.2.1 A era da inspeção

Oliveira *et al* (2004), menciona que os artesãos e seus clientes aplicavam o controle de qualidade através da inspeção de seus produtos atrás de anomalias, o que ocorreu pouco antes da Revolução Industrial, marca na qual a qualidade atingiu seu auge através do controle de inspeção, o qual era realizado sem padrões definidos e buscava encontrar apenas os defeitos de fabricação. A inspeção final não garantia total qualidade dos produtos, e havia um grande custo quanto ao tempo de produção perdido, e os custos de retrabalho.

A inspeção final segundo Galuch (2002) é uma atividade que faz parte do Controle da Qualidade (CQ), onde se busca identificar e avaliar o nível de qualidade de um produto, amostra, ou processo, conforme os padrões estabelecidos pelos clientes e normas vigentes.

2.2.2 Era do controle estatístico

Para aperfeiçoar as técnicas de inspeção e qualidade, surgiram através do americano Walter Andrew Shewart, as técnicas estatísticas de controle da qualidade. Segundo Montgomery (2004), com as experiências vivenciadas na Segunda Guerra Mundial e pós-guerra, tornou-se claro que as técnicas estatísticas eram necessárias para controlar e melhorar a qualidade dos produtos. Os Estados Unidos da América, utilizou-se destas técnicas estatísticas para implementação em seus fornecedores e espalhando o novo método de controle pelo mundo.

Para Oliveira, *et al* (2004), o aumento na demanda de produtos estava sobrecarregando as linhas de produção e o controle por inspeção foi se tornando inviável, com isso foi implementado as técnicas estatísticas a fim de aprimorar e agilizar a inspeção de produção. Através desta técnica, aleatoriamente, eram selecionados produtos na linha de produção para ser inspecionado. Cada amostra selecionada deveria representar a qualidade de todo o lote produzido. Nasce, então, o processo de inspeção por amostragem.

2.2.3 Era da qualidade total

Conforme Campos (1992), a Qualidade Total pode ser vista como um sistema de gestão da qualidade americano que foi aperfeiçoado no Japão, e introduzido logo após a Segunda Guerra Mundial. É um sistema que envolve todos os colaboradores da empresa no estudo. Tem como finalidade medir a qualidade de produtos, serviços e satisfação dos clientes.

Feigenbaum (1994) define qualidade total como um sistema eficaz que integra o desenvolvimento da qualidade, a manutenção da qualidade e os esforços de melhoria da qualidade entre os diferentes setores da empresa, com o objetivo de criar produtos, e ou serviços com o máximo de economia, permitindo alcançar a completa satisfação dos clientes.

2.3 MÉTODOS DE CONTROLE

A qualidade em algum produto ou processo necessita de métodos de controle adequados para realizar avaliações de conformidade, sejam eles por meio de dados variáveis ou atributivos. O manual AIAG (2005) aponta vários métodos de controle podem ser aplicados, como: inspeção, medições durante o processo, controle estatístico do processo, dados do tipo atributo, dispositivos à prova de erro automatizados ou manuais, planos de controle por amostragem.

2.3.1 Inspeção

A inspeção apresentada por Borrór (2008) é um método de controle que permite confrontar o resultado encontrado com a especificação do projeto, no qual verifica-se a característica através de medições, testes de montagem, inspeções visual.

Este método de controle permite a detecção de não-conformidades e sua devida disposição. Juran e Godfrey (1998) ressaltam também a possibilidade de realizar a inspeção de forma automática ou manual, incidindo na aplicação das etapas a seguir relacionadas:

- Medição da qualidade da característica;
- Interpretação da especificação;
- Julgamento da conformidade;
- Processamento dos itens conformes;
- Disposição dos itens não conformes;
- Registro das verificações.

As avaliações podem ser realizadas de dois modos, um por meio da inspeção por atributos quando não possui variáveis atreladas ao processo, que normalmente são checadas como “ok” e “não ok”. Para segunda forma de inspeção são utilizados sistemas de medição, pois os dados são variáveis (JURAN, GODFREY, 1998)

2.3.1.1 Inspeção 100%

Segundo Borrór (2008), este método de inspeção deve ser aplicado quando o custo da falha que chega até o cliente possui um custo muito elevado, como no caso de itens de elevada complexidade e/ ou criticidade, que prejudicam o desempenho do produto, ou podem comprometer a segurança dos usuários.

Outra aplicação para inspeção em todos os produtos é em casos onde a taxa de não-conformidades é extremamente elevada, sendo necessária para classificação dos itens que apresentam falhas.

2.3.1.2 Inspeção amostral

Para Borrór (2008), a inspeção por amostragem é realizada em uma parte do lote de peças ou produto, sendo necessário primeiro definir um critério de aceitação, o qual servirá de parâmetro para decisão na avaliação de conformidade para todo o lote que está sendo analisado.

Este método de inspeção também é apropriado quando for definida como a única forma disponível para realizar inspeções do tipo destrutivas, onde o custo com as inspeções é elevado, porém necessário para garantia da qualidade (BORROR, 2008).

2.3.2 Controle estatístico de processo (CEP)

Galuch (2002) conceituava o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ), como um parâmetro de definição para o comportamento do processo, sendo ele apropriado e capaz de rastrear e identificar os problemas do processo, possibilitando assim a produção de produtos com a qualidade aceitável.

Para Juran e Godfrey (1998), o CEP está fundamentado em conceitos estatísticos, tendo como finalidade armazenar e monitorar os dados do processo produtivo. Também considerado como um método de controle aplicado à qualidade, que permite a redução da variabilidade do processo no qual está sendo aplicado, tendo como objetivo completar a qualidade, credibilidade e o custo do produto ou serviço.

Definido por Montgomery (2004), o principal objetivo do CEP é a rápida detecção das ocorrências de causas comuns ou causas especiais que ocorrem durante o desenvolvimento no processo, de modo a identificar as causas e agir em busca de sua correção, antes que um elevado número de unidades não conformes seja fabricado.

2.3.2.1 Causas comuns

Para Montgomery (2004), causas comuns são fontes normais de variação que constantemente agem sobre o processo. Estes tipos de variáveis são causas menores que atuam no processo, e normalmente mantem o controle do processo de acordo com o especificado.

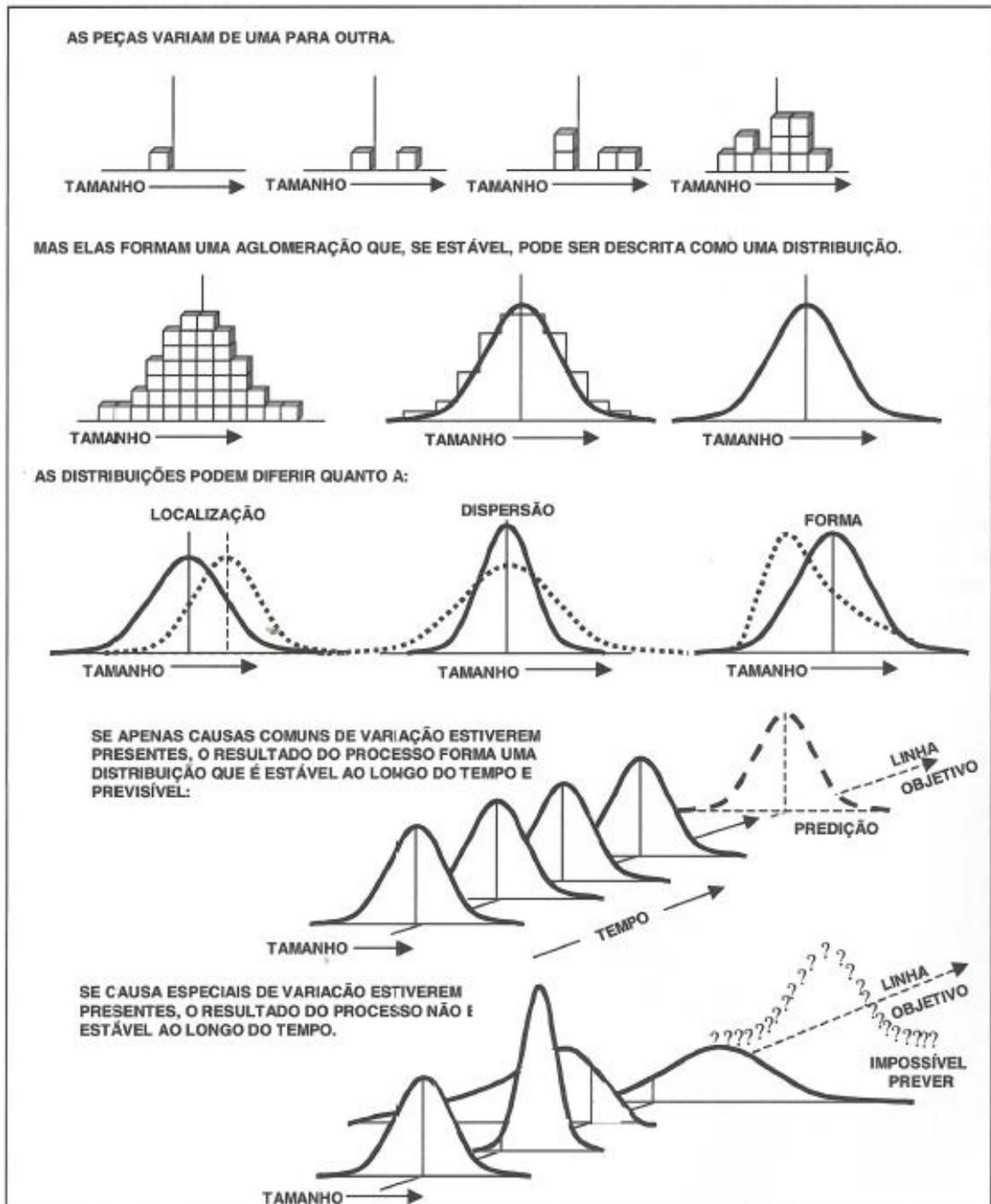
As causas comuns de um processo produzem uma distribuição estável e repetitiva ao longo de tempo, podendo estimar-se que o controle estatístico está controlado, pois quando somente causas comuns atuam e não sofrem alterações, o resultado do processo se torna previsível (AIAG, 2005).

2.3.2.2 Causas especiais

As causas especiais referem-se a qualquer fator que causa variação em alguns resultados do processo, normalmente são eventos que quando detectados podem ser ajustados e removidos do processo (BORROR, 2008).

Quando causas especiais estão presentes em um processo, os resultados não serão estáveis ao longo de tempo. Fatores que atuam com causas especiais são intermitentes e imprevisíveis, e são sinalizados por um ou mais pontos fora dos limites de controle ou por padrões não aleatórios dos pontos dentro dos limites de controle, que podem ser visualizados na Figura 1 (AIAG, 2005).

Figura 1 - Variação, causas comuns e causas especiais.



2.3.2.3 Cartas de controle

Para Montgomery (2004), cartas de controle é uma forma gráfica de visualizar o desempenho de um processo com um limite de controle, onde o resultado é obtido através da distribuição dos pontos no gráfico conforme os padrões aleatórios e dentro do limite de especificação.

De acordo com AIAG (2005), cartas de controle podem ser usadas para monitorar ou avaliar um processo, onde dois modelos de cartas podem ser aplicados, uma para dados variáveis e uma para dados do tipo atributos. Quando os dados do processo são do tipo “Passa/Não Passa ou Aceita/Rejeita” o modelo de carta a ser utilizado é do tipo atributos, e se os dados do processo são dados quantitativos do tipo “Diâmetro ou Comprimento” o modelo de carta a ser utilizado é do tipo variáveis.

2.4 SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Medições são efetuadas em vários ramos da atividade humana, pois a indústria o comércio a agropecuária e os setores de serviços não estariam tão desenvolvidos sem as medições confiáveis. Nas atividades diárias como o horário em que o relógio desperta, o volume de combustível do veículo e a velocidade como se desloca, as contas de água e energia, a regulagem e a operação das máquinas, e a qualidade do produto final, pode-se encontrar alguns exemplos de medição do dia-a-dia (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008).

Conforme afirma Theisen (1997), empresas e laboratórios de prestação de serviços metrológicos devem definir algumas ações para a gestão dos seus processos, são elas:

- Buscar a garantia da qualidade e o aumento de produtividade em medições;
- Promover a mudança de hábitos e atitudes das pessoas que atuam no setor;
- Promover a organização interna para a adequação à variação das demandas e o aumento das exigências;
- Ter postura para alcançar a satisfação dos usuários do laboratório, fornecendo resultados confiáveis e com rapidez.

O sistema de medição pode ser visto como um fator relevante na confiabilidade dos resultados das medições, embora não seja o único. As habilidades do operador, as condições ambientais, o procedimento de medição e a própria definição do mensurando são outros fatores que afetam o resultado de medição. No conjunto, esses elementos caracterizam o processo de medição (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008).

2.5 O PROCESSO DE MEDIÇÃO

A medição acontece através de um processo experimental no qual o valor de uma grandeza física a ser medida é expresso por uma fração de uma unidade no qual está estabelecida por um padrão (THEISEN, 1997).

Conforme definição de Albertazzi e Sousa (2008) o processo de medição é o conjunto de fatores envolvidos em uma operação de medição. Abrange o meio de medição, o procedimento de medição, o agente que efetua a medição, o método de medição e a clara definição do mensurando.

O procedimento de medição é muito importante para a garantia de resultados confiáveis. Para Albertazzi e Sousa (2008) o procedimento de medição é parte importante do processo de medição e afeta o seu resultado. Os preparativos, a sequência de operações, o número de medições a ser realizado e os cálculos efetuados são alguns aspectos envolvidos no sistema de medição. Em adição, destaca-se relevância ao estudo dos erros de um sistema de medição. Conhecendo os erros envolvidos em um processo de medição é possível reduzi-los ou compensá-los a fim de obter maior confiabilidade no resultado final das medições.

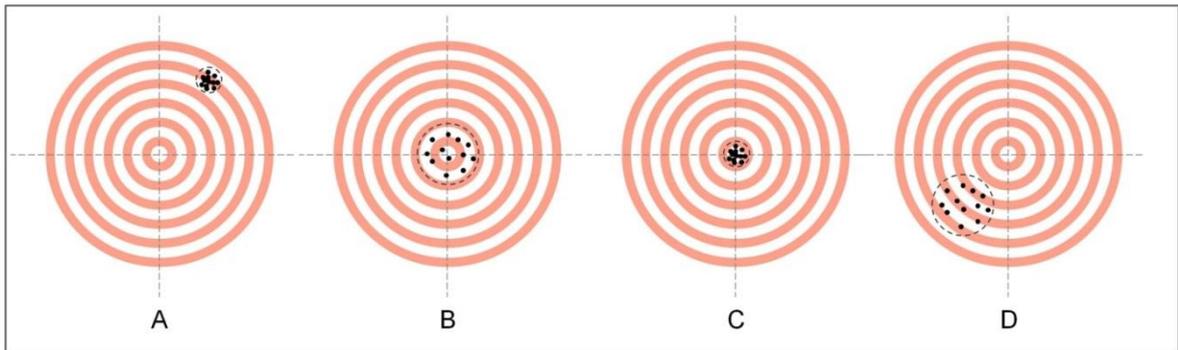
A confiabilidade metrológica é a capacidade que o sistema de medição tem na incerteza ou confiança nos resultados dos testes. Este conceito é semelhante ao de CQ (Controle da Qualidade). Para atingir o nível de confiança exigido a confiabilidade metrologia requer rotinas e métodos apropriados todos com base em técnicas estatísticas e análise de erros (THEISEN, 1997).

2.5.1 Variações no processo de medição

A variação total de um sistema de medição pode ser definida como erro, que pode ser classificado como erro sistêmico e erro aleatório. O erro sistêmico é definido como uma parcela previsível de erro presente em repetidas medições, e em condições similares de operação. Já o erro aleatório corresponde a uma parcela imprevisível de erro, quando são realizadas repetidas medições da mesma grandeza (AIAG, 2002).

De acordo com Albertazzi e Sousa (2008), o erro se faz presente sempre que o comportamento real de um sistema de medição não condiz com o padrão estabelecido. Os erros sistêmicos e aleatórios podem ser visualizados na Figura 2, considerando que o valor verdadeiro de uma característica é o centro dos alvos.

Figura 2 - Imagem de erros sistemáticos e erros aleatórios.



Fonte: Adaptado de Albertazzi e Sousa, 2008, p.40.

Para condição A, a dispersão é pequena, porém a distância para o centro do alvo é grande, que indica um pequeno erro aleatório e grande erro sistemático. Na condição B a média dos erros está próxima do centro do alvo, contudo com dispersão elevada, que resulta um elevado nível de erros aleatórios e um baixo erro sistemático.

No caso de condição C, possui um desempenho excelente, que resulta em reduzidos níveis de erros aleatórios e erros sistemáticos. A condição D apresenta grande dispersão e grande distância para o centro do alvo, neste caso os níveis de erros aleatórios e sistemáticos são elevados.

2.6 PROPRIEDADES ESTATÍSTICAS DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Um sistema ideal de medição tende a produzir somente medições corretas, onde cada medição sempre vai aderir a um padrão. Um sistema que produz medições verdadeiras possui propriedades estatísticas de tendência, estabilidade e linearidade associadas a variação de localização. Já as propriedades de repetitividade e reprodutibilidade estão associadas às variações da dispersão (AIAG, 2002).

2.6.1 Variação da localização

A variação da localização do sistema de medição normalmente é determinada através das análises da exatidão, da tendência e da linearidade (AIAG, 2002).

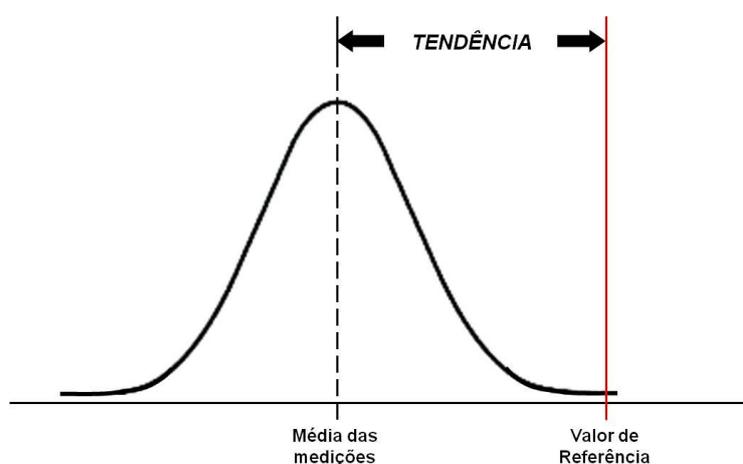
2.6.1.1 Exatidão

De acordo com AIAG (2002), o conceito de exatidão está relacionado com a proximidade entre a média dos valores medidos e o valor de referência. Para que a exatidão do processo seja válida, o processo de medição deve estar sob controle estatístico.

2.6.1.2 Tendência

A tendência corresponde à diferença entre o valor verdadeiro e a média das medições obtidas de uma característica, medições estas, realizadas sobre uma mesma peça. É considerada uma parcela do erro total, composta dos efeitos combinados de todas as fontes de variação, conhecidas ou desconhecidas do processo de medição (AIAG, 2002). A Figura 3 apresenta a diferença entre o valor de referência e a média das medições observada para uma característica.

Figura 3 - Tendência.



Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 49.

De acordo com AIAG (2002) as causas possíveis para uma tendência excessiva no processo de medição são:

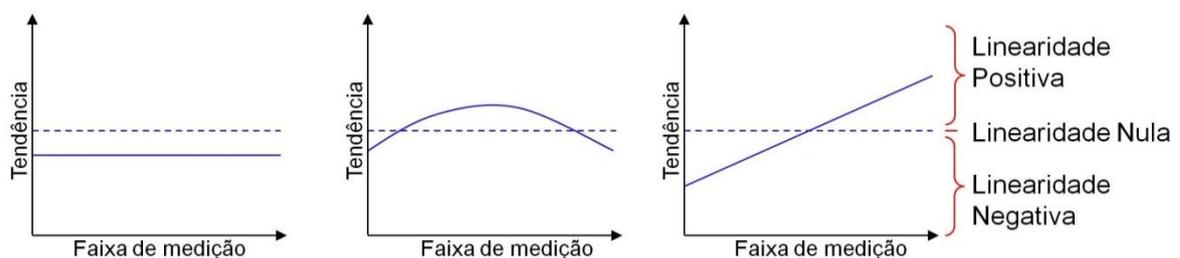
- O instrumento necessita calibração;
- Desgaste do instrumento, equipamento ou dispositivo de fixação;
- Padrão-mestre desgastado ou danificado, erro do padrão-mestre;
- Calibração inapropriada ou uso inapropriado do padrão-mestre;
- Instrumento de baixa qualidade: quanto ao projeto, ou à conformidade de manufatura;
- Erro de linearidade;
- Dispositivo de medição errado para a aplicação;
- Método de medição diferente: ajuste, carga, aperto/fixação, técnica de operação;
- Medição da característica errada;
- Deformação/distorção da peça ou do dispositivo de medição;

- Ambiente sem controle da temperatura, umidade, vibração, limpeza;
- Violação de alguma premissa: erro na aplicação de uma constante;
- Aplicação: tamanho da peça, posição, habilidade do operador, fadiga, erro de observação.

2.6.1.3 Linearidade

Conforme determina AIAG (2002), a linearidade é definida como sendo a diferença da tendência ao longo do intervalo de operação esperado no equipamento, ou também pode ser imaginada como a variação da tendência com respeito ao tamanho medido. A Figura 4 apresenta a tendência da medição em um determinado equipamento.

Figura 4 - Linearidade.



Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 51.

De acordo com AIAG (2002) as causas possíveis do erro de linearidade no processo de medição são:

- Instrumento necessita de calibração, reduzir o intervalo de tempo entre calibrações;
- Desgaste do instrumento, equipamento, ou dispositivo de fixação;
- Manutenção precária: ar, energia, hidráulica, filtros, corrosão, ferrugem;
- Padrão-mestre desgastado ou danificado;
- Calibração inapropriada ou uso inapropriado do padrão-mestre;
- Instrumento de baixa qualidade;
- Projeto do instrumento não robusto ou método não robusto;
- Dispositivo de medição inadequado para aplicação;
- Método de medição diferente, não adequado;
- Deformação/distorção variando com o tamanho da peça;
- Ambiente sem controle da temperatura, umidade, vibração, limpeza;

- Violação de alguma premissa: erro na aplicação de uma constante;
- Aplicação: tamanho da peça, posição, habilidade do operador, fadiga, erro de observação.

2.6.2 Variação da dispersão

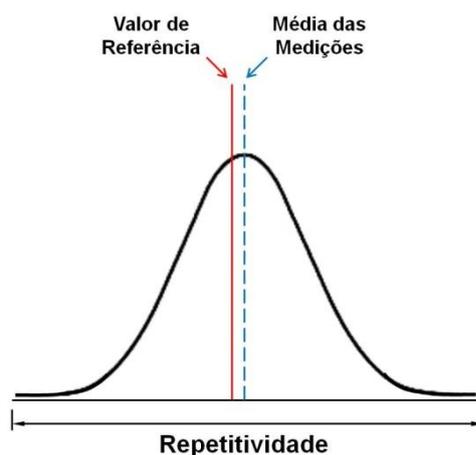
Os critérios para verificar se o sistema de medição é satisfatório, dependem da porcentagem de variação da repetitividade e reprodutibilidade em relação à variabilidade total do processo (AIAG, 2002).

2.6.2.1 Repetitividade

Conforme define AIAG (2002), repetitividade é tradicionalmente avaliada como a variabilidade de um único avaliador. Sendo que a repetitividade é a variação das medições obtidas com um instrumento de medição, utilizado diversas vezes por um mesmo avaliador, e medindo a mesma característica de uma mesma peça.

Na Figura 5 é possível observar que o resultado obtido em uma análise resulta em uma curva normal, pois diversas medições foram realizadas em uma mesma característica, utilizando o mesmo instrumento e avaliador, onde as variações encontradas são inerentes ao próprio sistema.

Figura 5 - Repetitividade.



Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 52.

Conforme AIAG (2002), as possíveis causas de uma repetitividade precária são:

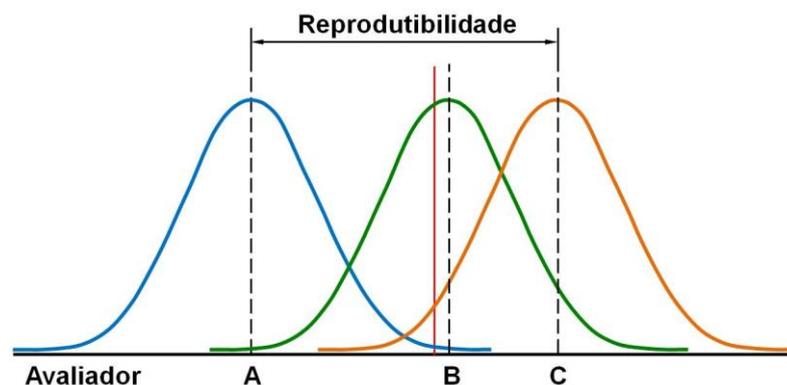
- Variação dentro da peça: forma, posição, acabamento superficial, conicidade, consistência da amostra;

- Variação dentro do instrumento: reparo, desgaste, falha do equipamento ou dispositivo de fixação, baixa qualidade ou manutenção precária;
- Variação dentro do padrão: qualidade, classe desgaste;
- Variação dentro do método: variação no ajuste, na técnica operacional, no zerar o equipamento, na fixação da peça, no aperto do dispositivo, na densidade de pontos;
- Variação dentro do avaliador: técnica, posição, falta de experiência, habilidade de manipulação, treinamento de manuseio, sensibilidade pessoal, fadiga;
- Variação dentro do ambiente: pequenas flutuações cíclicas na temperatura, umidade, vibração, iluminação, limpeza;
- Violação de alguma premissa: estabilidade, operação apropriada;
- Projeto do instrumento não robusto ou método não robusto, uniformidade precária;
- Dispositivo de medição errado para aquela aplicação;
- Deformação/distorção ocasiona falta de rigidez;
- Aplicação: tamanho da peça, posição, erro de observação.

2.6.2.2 Reprodutibilidade

De acordo com AIAG (2002), reprodutibilidade é a variabilidade entre avaliadores, sendo tipicamente definida como a variação das médias das medições feitas por diferentes avaliadores, utilizando um mesmo instrumento de medição, enquanto medindo uma mesma característica de uma mesma peça. A Figura 6 apresenta as variações ocorridas entre avaliadores na medição de uma determinada característica.

Figura 6 - Reprodutibilidade.



Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 53.

Para AIAG (2002), as possíveis causas para o erro de reprodutibilidade são:

- Variação entre amostras de peças: diferença de médias quando medindo tipos de peças A, B, C, etc., usando o mesmo instrumento, os mesmos operadores, e o mesmo método;
- Variação entre instrumentos, diferença de médias usando instrumentos A, B, C, etc., para as mesmas peças, mesmos operadores, e mesmo ambiente. Nota: neste estudo o erro de reprodutibilidade é geralmente confundido com o erro do método e/ou com o erro do operador;
- Variação entre padrões: influência média de diferentes conjuntos de padrões no processo de medição;
- Variação entre métodos: diferença de médias causada pelo variar das densidades de pontos, sistema manual vs. automático, método para zerar o equipamento, métodos para fixação da peça, métodos de aperto/fixação, etc.;
- Variação entre avaliadores: diferença de médias entre os avaliadores A, B, C, etc., causada por treinamento, técnica operacional, habilidade e experiência. Este é o estudo recomendado para a qualificação do produto e do processo, bem como para a qualificação do instrumento de medição manual;
- Variação entre ambiente: diferença de médias em medições feitas no decorrer do tempo 1, 2, 3, etc., causada pelos ciclos ambientais; este é o estudo mais comum para os sistemas altamente automatizados, quando da qualificação do produto e do processo;
- Violação de alguma premissa do estudo;
- Projeto do instrumento não robusto ou método não robusto;
- Eficácia do treinamento do operador;
- Aplicação: tamanho da peça, posição, erro de observação.

2.7 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Os instrumentos de medição têm como objetivo principal conferir se as partes produzidas estão de acordo com as especificações, garantido assim que a qualidade dos produtos atenda às necessidades do projeto. Esses dados de medição podem ser utilizados de diversas maneiras. Segundo o AIAG (2005), dentre seus usos estão os estudos estatísticos que

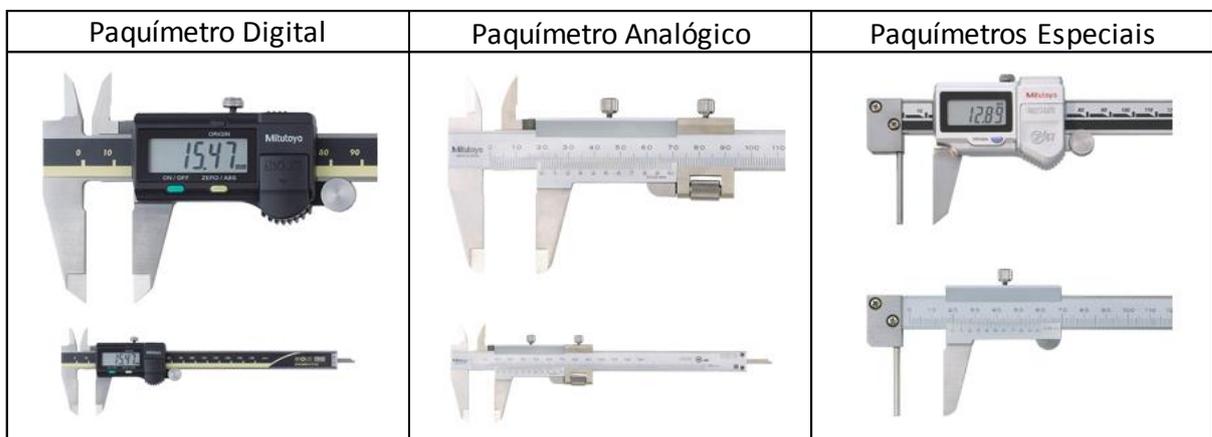
permitem identificar o comportamento do processo, se a variabilidade das dimensões está sob controle ou se necessita de melhorias para garantia da qualidade dos produtos.

A exatidão relativa das medidas depende da qualidade dos instrumentos empregados para medição. Para que a medida encontrada com o instrumento tenha precisão e confiabilidade no resultado, é necessário que o instrumento esteja devidamente aferido e calibrado. Na indústria, os instrumentos básicos mais utilizados para realizar medições da grandeza comprimento são: micrômetros, paquímetros e relógios comparadores (MITUTOYO, 2016).

2.7.1 Paquímetro

O paquímetro é um instrumento de medição de fácil operação, boa durabilidade e baixo custo quando comparados a outros instrumentos, são capazes de realizar medidas externas e internas, de profundidade e de ressaltos. Para peças que apresentam geometrias complexas, com algumas restrições ou dificuldades de acesso para medir, podem ser confeccionados paquímetros especiais capazes de atender as necessidades de medições (MITUTOYO, 2016). A Figura 7 apresenta alguns modelos de paquímetros.

Figura 7 - Modelos de paquímetros.



Fonte: Adaptado de Catálogo Mitutoyo, 2016.

2.7.2 Micrômetro

O micrômetro é um instrumento portátil, com capacidade de ler até 1 μ m (micrômetro) sendo muito utilizado em empresas do setor metal mecânico. Pode ser do tipo analógico ou digital, externos, internos e de profundidade, e também possui os especiais que são dedicados a medições exclusivas para um determinado tipo de produto. Esse instrumento possui alta exatidão devido a sua resolução ser de 1 μ m, o que possibilita realizar medições

precisas com facilidade e praticidade (MITUTOYO, 2016). Na Figura 8 são mostrados alguns modelos de micrômetros.

Figura 8 - Modelos de micrômetros.

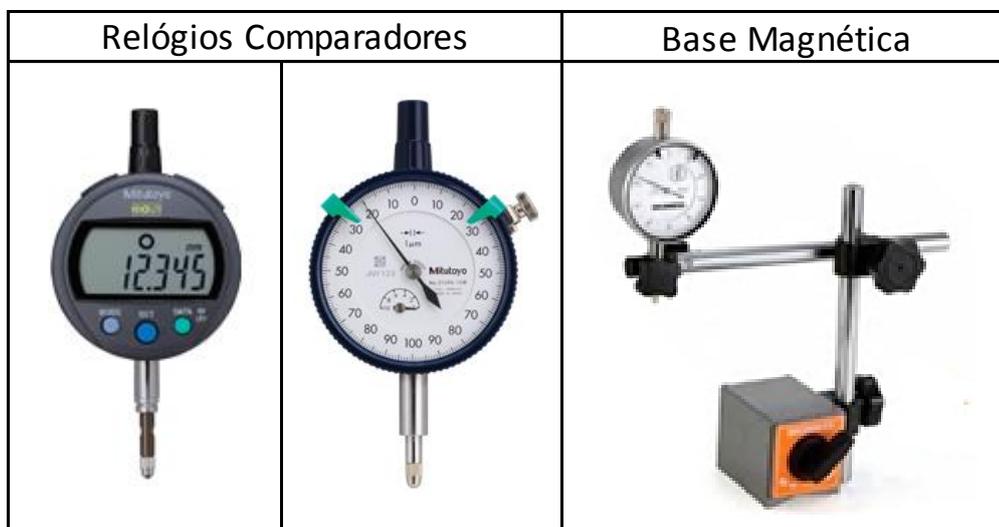


Fonte: Adaptado de Catálogo Mitutoyo, 2016.

2.7.3 Relógio comparador

Os relógios comparadores são instrumentos de medição utilizados para avaliar condições como desvio circular ou transferência de altura em comparações com dimensões padrão, podem ser do tipo digital e analógico. Esse tipo de medição é denominado medição por comparação. Os relógios comparadores normalmente são fixos em um suporte com uma base magnética, pois sua aplicação necessita diversas posições de ajustes para realizar as devidas medições (MITUTOYO, 2016). Na Figura 9 são apresentados modelos de relógios comparadores e base magnética.

Figura 9 - Modelos de relógio comparador e base magnética.



Fonte: Adaptado de Catálogo Mitutoyo, 2016.

2.8 ANÁLISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

A análise do sistema de medição requer o uso de ferramentas estatísticas, que permitem a avaliação do grau de confiabilidade dos dados gerados pelos sistemas de medição utilizados pela empresa. Tendo em vista que no gerenciamento de processos os dados representam a base para a tomada de decisão, é necessário previamente determinar se os sistemas de medição fornecem resultados confiáveis. Desta forma, a avaliação estatística da qualidade das medidas geradas pelos sistemas de medição é um estudo indispensável para o gerenciamento de processos (ABDI, 2013).

Para a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2013), devido a importância dos dados para as atividades de gerenciamento de processos, é imprescindível que as medições realizadas durante a coleta de dados sejam confiáveis, de forma a garantir que as ações a serem tomadas após a análise dos dados de medição, sejam realmente adequadas.

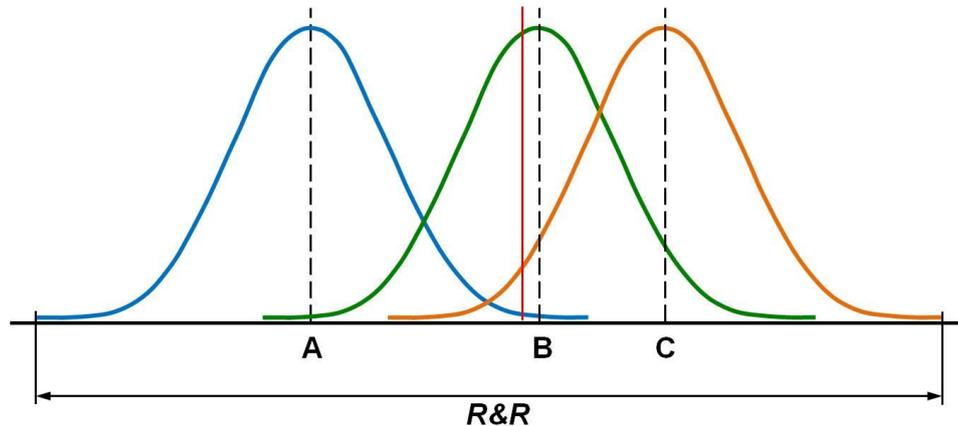
O manual de MSA da AIAG (2002) orienta que a qualidade dos dados de medição está relacionada com as propriedades estatísticas das múltiplas medições obtidas de um sistema de medição operando sob condições estáveis. Uma das razões que mais contribui para a baixa qualidade dos dados é a variação excessiva no resultado das medições.

2.8.1 Diretrizes para determinação da repetitividade e reprodutibilidade – R&R

De acordo com AIAG (2002), o estudo dos dispositivos de medição através de variáveis pode ser realizado com três técnicas diferentes, sendo elas: método da amplitude, método da amplitude e média e o método ANOVA (Método da análise de variância). A estrutura para realizar os estudos com os métodos da Média e Amplitude e ANOVA são similares. Já o método da Amplitude diminui a complexidade, pois não decompõe a variabilidade em repetitividade e reprodutibilidade, somente fornece uma visão geral do sistema de medição.

Ainda conforme AIAG (2002), o sistema completo de medição não inclui somente o dispositivo de medição e suas respectivas variações de tendências e repetitividade, mas também pode incluir a variação de peças sendo verificadas. A determinação de como tratar a variação de uma peça necessita ter o entendimento racional do uso pretendido para a peça e o propósito da medição. A Figura 10 apresenta as variações da repetitividade e reprodutibilidade entre avaliadores, analisando a mesma característica utilizando o mesmo sistema de medição.

Figura 10 - Repetitividade e Reprodutibilidade.



Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 97.

2.8.1.1 Análise gráfica dos resultados

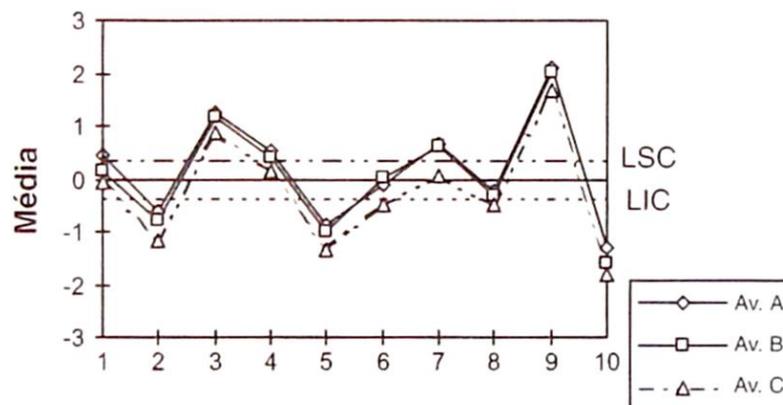
As utilizações de instrumentos gráficos são de grande importância, pois permitem a verificação sistemática dos dados para visualização das variações, decorrentes de causas especiais que deve anteceder qualquer outra análise estática (AIAG, 2002).

As formas gráficas recomendadas para realizar análise gráfica estão dispostas a seguir:

2.8.1.1.1 Carta de médias

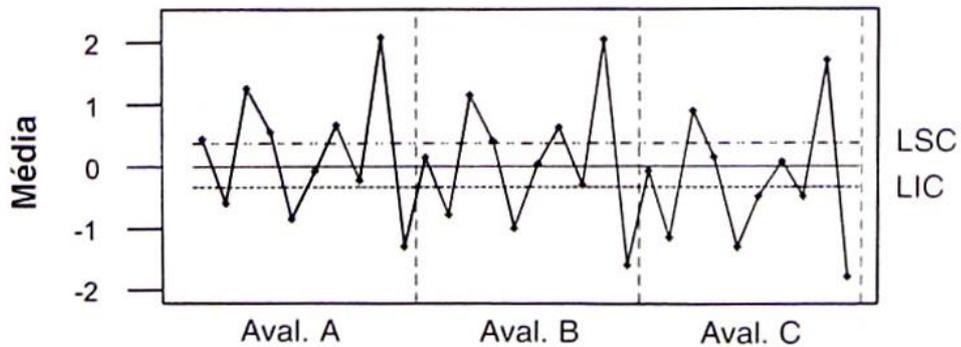
De acordo com AIAG (2002), são plotadas em gráfico as médias de múltiplas leituras feitas por cada um dos avaliadores, o que representa no eixo das abcissas o número de identificação das peças. Estas representações podem ser observadas nas Figuras 11 e 12, e auxiliam na determinação da consistência entre avaliadores.

Figura 11 - Carta de médias superpostas.



Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 103.

Figura 12 - Carta de médias não superpostas.



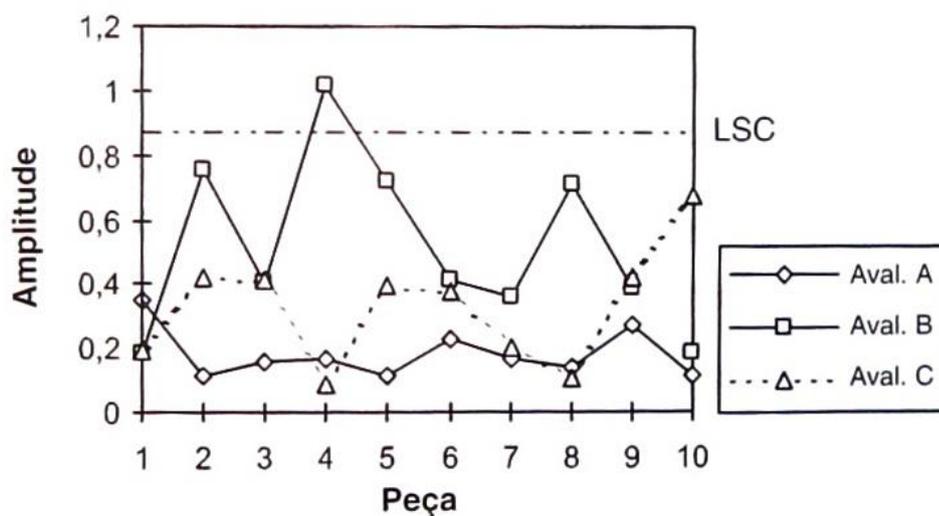
Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 103.

2.8.1.1.2 Carta de amplitudes

Segundo AIAG (2002), neste tipo de gráfico são plotadas as amplitudes de múltiplas leituras realizadas por cada avaliador sobre cada peça, incluindo-se as marcações da amplitude média e dos limites de controle. Através desta carta, se todas as amplitudes dispostas estiverem sob controle, é possível interpretar se todos os avaliadores estão trabalhando da mesma forma, ou seja, o quanto consistente é o processo de medição entre os avaliadores.

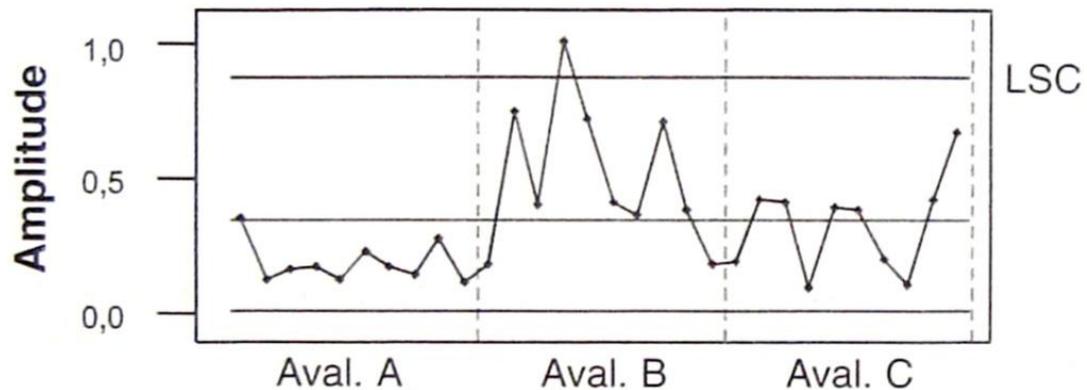
As Figuras 13 e 14 a seguir indicam as diferenças existentes entre a variabilidade dos avaliadores.

Figura 13 - Carta de amplitudes superpostas.



Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 104.

Figura 14 - Carta de amplitudes não superpostas.

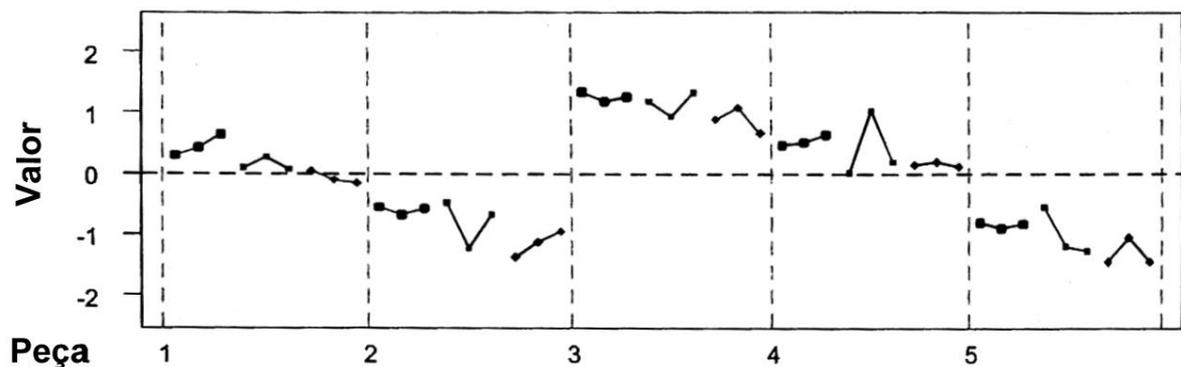


Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 105.

2.8.1.1.3 Gráfico de dispersão

Neste tipo de gráfico são plotadas as leituras individuais de cada avaliador por peça, que permite identificar a consistência entre avaliadores, possíveis discrepâncias de leituras e as interações peça x avaliador (AIAG, 2002). A Figura 15 demonstra a disposição dos dados no gráfico.

Figura 15 - Gráfico de dispersão.



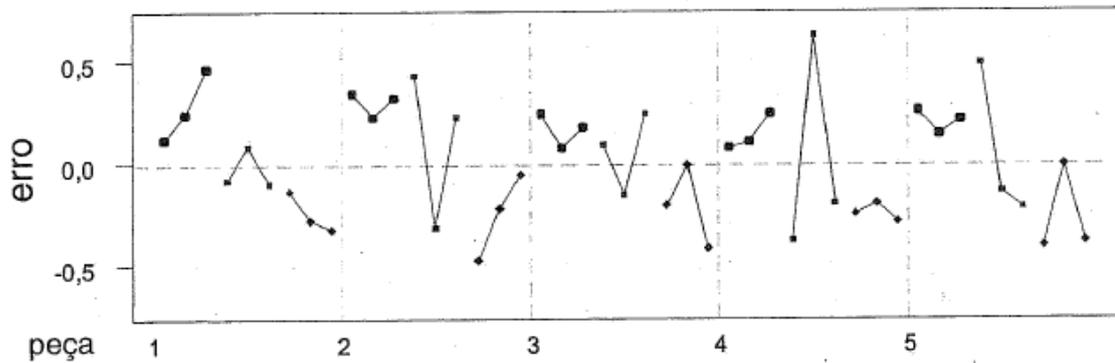
Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 106.

2.8.1.1.4 Carta de erros

Este tipo de gráfico possibilita analisar os desvios individuais de cada operador em relação aos valores de referência. Esta análise de erros permite avaliar se algum operador possui tendência negativa ou positiva, a variabilidade entre os operadores e se apresenta

alguma variação diferente das normalmente encontradas (AIAG, 2002). Na Figura 16 podem ser visualizados os desvios individuais contra os valores de referência aceitos.

Figura 16 - Carta de erros.

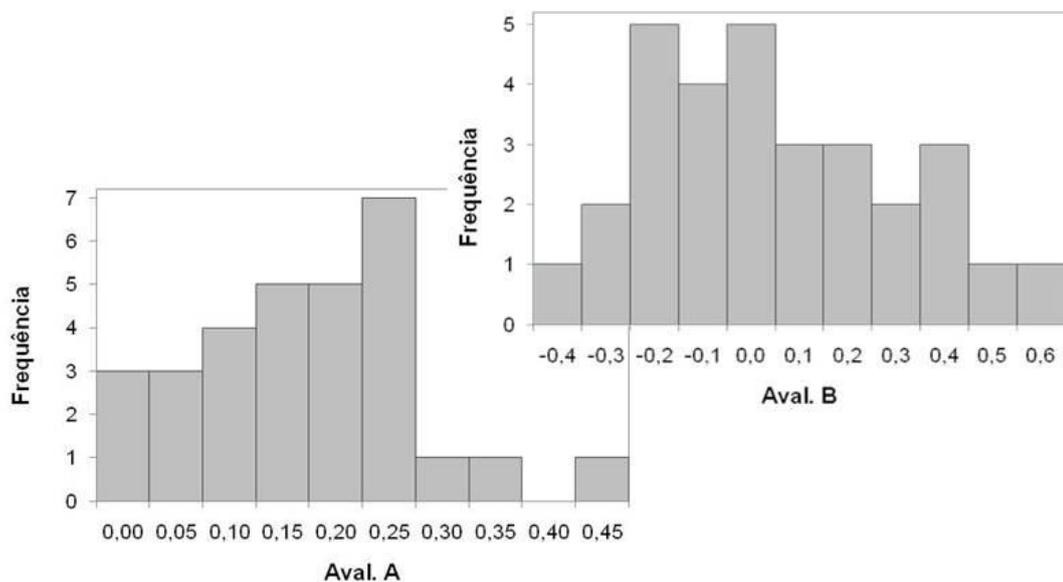


Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 108.

2.8.1.1.5 Histograma normalizado

De acordo com AIAG (2002), histograma é um gráfico que permite visualizar a distribuição das frequências do erro de medição para cada avaliador que participou do estudo. O valor do erro será obtido pela diferença entre a medição realizada e as médias das medições de todos avaliadores em cada peça. Na Figura 17 é possível visualizar as barras que mostram as distribuições das frequências para cada avaliador.

Figura 17 - Histograma normalizado.



Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 109.

2.8.1.2. Análise numérica dos resultados

De acordo com AIAG (2002), a análise aferirá a variação e a porcentagem relativa à variação do processo para a variação total apresentada pelo sistema de medição e seus componentes, definidos como: a repetitividade, a reprodutibilidade e a variação da peça. Os resultados obtidos através da aplicação das formulas do Quadro 1, necessitam ser comparados com a análise gráfica, pois são informações que complementam os resultados obtidos a partir da análise gráfica.

Quadro 1 - Fórmulas para cálculo de R&R de um dispositivo de medição.

Parâmetros	Fórmulas	Conceitos
Repetitividade: Variação do Equipamento (VE)	$VE = \bar{R} \cdot K_1$ $\%VE = 100 [VE/VT]$ $\bar{R} = \frac{(\bar{R}_A + \bar{R}_B + \dots + \bar{R}_{\text{ÚLT.AVAL.}})}{N^{\circ} \text{ DE AVALIADORES}}$	<ul style="list-style-type: none"> • “K₁” depende do número de medições repetidas, e é igual ao inverso de d₂; • “\bar{R}” é a média das amplitudes encontradas por cada avaliador;
Reprodutibilidade: Variação entre Avaliadores (VA)	$VA = \sqrt{(\bar{X}_{DIF} \cdot K_2)^2 - (VE^2/nr)}$ $\%VA = 100 VA/VT$	<ul style="list-style-type: none"> • “\bar{X}_{DIF}” representada a diferença entre as médias máxima e mínima para cada avaliador em cada peça;
Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R)	$R\&R = \sqrt{VE^2 + VA^2}$ $\%R\&R = 100 [R\&R/VT]$	
Variação da Peça (VP)	$VP = R_p \cdot K_3$ $R_p = \text{Máx } \bar{X}_{\text{geral}} - \text{Mín } \bar{X}_{\text{geral}}$ $\%VP = 100 VP/VT$	<ul style="list-style-type: none"> • “K₂” é igual ao inverso de d₂, que depende do número de avaliadores (m) e g = 1;
Variação Total (VT)	$VT = \sqrt{R\&R^2 + VP^2}$	<ul style="list-style-type: none"> • “n” é o número de peças;
Número de distintas categorias - (ndc)	$ndc = 1,41 \left(\frac{VP}{R\&R} \right)$	<ul style="list-style-type: none"> • “r” é o número de repetições das medições;

Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 114.

Os resultados encontrados são referentes às porcentagens relativas à variação total do sistema de medição, e necessitam ser comparados aos critérios de aprovação para os parâmetros de R&R conforme o Quadro 2, assim determinando se o sistema de medição está aceitável ou não para sua pretendida aplicação (AIAG, 2002).

Quadro 2 - Critérios para aprovação de R&R.

%R&R	Conclusão
%R&R < 10%	Sistema de medição pode ser considerado aceitável.
$10\% \leq \%R\&R \leq 30\%$	O sistema de medição pode ser aceito com base na importância de sua aplicação, no custo do equipamento de medição e no custo de reparos para possibilitar melhorias.
%R&R > 30%	O sistema de medição é considerado como não aceitável, sendo necessário destinar esforços para que seja melhorado.

Fonte: Adaptado de IQA, 2002, p. 77.

2.9 CAPABILIDADE DO PROCESSO

Para Juran e Godfrey (1999), a avaliação da capacidade de um processo em atender as especificações estabelecidas no projeto, pode ser realizada através da análise dos índices de capacidade. Os valores dos dados variáveis obtidos podem ser classificados em duas categorias, índices de curto prazo e índices de longo prazo.

Os índices de curto prazo são aplicados na validação inicial de um processo de fabricação de peças, que estejam atendendo as especificações de acordo com os requisitos do cliente. Já os índices de longo prazo são constituídos sobre dados estatísticos com análises em períodos maiores, desta forma, é possível contemplar todas as variações esperadas que estão impostas no processo (JURAN, GODFREY, 1999).

Conforme define AIAG (2005), a análise da capacidade do processo tem como objetivo identificar as variações que ocorrem no processo, para tomar decisões necessárias para contenção do problema. Para que a capacidade do processo possa ser validada, o controle estatístico deve estar sob controle, ou seja, as causas especiais do processo devem ter sido eliminadas.

2.9.1 Indicador de Cp e Cpk

De acordo com a AIAG (2005), o índice da capacidade Cp compara a capacidade do processo com a variação total permitida, de acordo com a especificação da tolerância. Este

indicador demonstra uma medida de como o processo atenderá as necessidades de variabilidade, calculado pela eq. (1).

$$Cp = \frac{LSE-LIE}{6\sigma_c} = \frac{LSE-LIE}{6\bar{R}/d_2} \quad (1)$$

LSE (Limite superior especificado)

LIE (Limite inferior especificado)

\bar{R} (Amplitude Média)

σ_c (Desvio padrão do processo)

d_2 (Valor tabelado)

O índice de capacidade Cpk avalia a centralização do processo, ele leva em conta a centralização do processo e a capacidade. Pode ser descrita como a distância da média do processo, levando em consideração a relação dos limites de especificação, onde o valor do Cpk é o menor valor entre os índices de capacidade do processo de CPU e CPL (AIAG, 2005). Os índices de capacidade de CPU e CPL são calculados pela eq. (2) e eq. (3).

$$CPU = \frac{LSE-\bar{X}}{3\sigma_c} = \frac{LSE-\bar{X}}{3\bar{R}/d_2} \quad (2)$$

$$CPL = \frac{\bar{X}-LIE}{3\sigma_c} = \frac{\bar{X}-LIE}{3\bar{R}/d_2} \quad (3)$$

LSE (Limite superior especificado)

LIE (Limite inferior especificado)

\bar{X} (Média das leituras)

\bar{R} (Amplitude Média)

σ_c (Desvio padrão do processo)

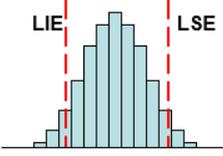
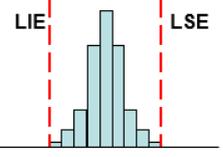
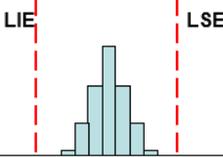
d_2 (Valor tabelado)

2.9.2 Verificação dos índices de capacidade

De acordo com WERKENA (1995), é fundamental avaliar se o processo é capaz de atender as especificações estabelecidas a partir dos desejos e necessidades dos clientes. Os resultados encontrados na avaliação do índice de capacidade do processo devem ser

comparados com o Quadro 3, o qual classifica o processo quanto a sua capacidade, que pode ser adequado, aceitável ou inadequado para atender a especificação requerida.

Quadro 3 - Critérios para aprovação da capacidade.

Classificação	Gráfico	Valor Cp	Valor PPM
I Incapaz, Inadequado		$C_p < 1,00$	$P \geq 2700$
Aceitável		$1,00 \leq C_p \leq 1,33$	$64 \leq p \leq 2700$
Capaz, Adequado		$C_p \geq 1,33$	$p \leq 64$

Fonte: Adaptado de WERKEMA, 1995, p. 280.

O índice de Cpk que permite avaliar se o processo está sendo capaz de atingir o valor nominal da especificação, deve ser relacionado com o índice do Cp. O Quadro 4 apresenta as ações que devem ser adotadas para melhorar a capacidade do processo, em função da comparação das magnitudes de Cp e Cpk (WERKEMA, 1995).

Quadro 4 - Ações em função da comparação dos índices de Cp e Cpk.

INDICES	$C_p \Rightarrow 1.33$	$C_p \Rightarrow 1.0$ to 1.33	C_p menor que 1.0
$C_{pk} < 1.0$	O processo não produz continuamente peças conforme as especificações. O processo deve ser melhorado	O processo não produz continuamente peças conforme as especificações. O processo deve ser melhorado	O processo não produz continuamente peças conforme as especificações. O processo deve ser trocado
$C_{pk}: 1.0$ até 1.33	O processo atende as especificações quase que plenamente. O processo pode ser refinado.	O processo atende as especificações quase que plenamente. O processo pode ser refinado.	
$C_{pk} > 1.33$	O processo atende as especificações plenamente.		

Fonte: Adaptado de WERKEMA, 1995, p. 282.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

A metodologia da pesquisa tem por definição um conjunto distinto de métodos, técnicas e ferramentas que são utilizados para alcançar um objetivo, descrevendo o que e como deve ser feito em cada momento ou etapa (PRADO, 2004).

A empresa metalúrgica M.R.STAM<DA situa-se na cidade de Horizontina e tem como atividade principal fornecer soluções em usinagem, produzindo peças em série ou especiais, dispositivos e equipamentos para diversos segmentos. A produção de peças seriadas é realizada em máquinas do tipo Fresadora e Tornos Horizontais com comando numérico computadorizado totalmente automático. O propósito do estudo foi realizar a análise do processo através de coleta de dados amostrais de peças produzidas, a fim de entender qual a variação dimensional que as peças apresentam no processo atual de fabricação, para posteriormente avaliar possibilidades de implementar melhorias no processo de medição e inspeção de peças produzidas em série.

A análise dos dados enquadra-se como uma pesquisa quantitativa e, por se tratar de estudos para identificar a variação dimensional das peças durante os processos de medição e fabricação, as quais causam anomalias de processo. O trabalho é uma pesquisa-ação, pois contém coleta de dados na fonte do problema, de onde foram extraídas informações para análise e estudo de caso, a atividade seguinte refere-se à definição da proposta de melhoria para os casos identificados como potenciais modos de falha, e possíveis anomalias de processo.

Considerando a finalidade de verificar a situação atual do processo de fabricação de peças usinadas, analisar os métodos utilizados para realizar as medições e acompanhar a eficácia dos resultados obtidos nas medições, as atividades realizadas foram definidas e atribuiu-se a seguinte sequência.

1. Realizar um levantamento relacionados a não-conformidades, identificando quais são os problemas mais relevantes, levando em consideração a quantidade e a causa da anomalia de cada item produzido.
2. Analisar e definir os processos produtivos e itens utilizados para realizar o estudo.
3. Verificar o atual processo de medição, aplicando o estudo de repetitividade e reprodutibilidade R&R para validar o sistema de medição.
4. Executar o estudo de capacidade do processo, verificando a situação atual.
5. Analisar os resultados do R&R e do estudo de capacidade do processo.

6. Identificar e propor possíveis melhorias no processo, se necessário.
7. Realizar novo estudo do sistema de medição e da capacidade do processo após as melhorias serem implementadas.
8. Discussão dos resultados.

3.2 LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS PROBLEMAS DE NÃO-CONFORMIDADES

Para identificar os principais modos de falha, foram utilizados os registros de não-conformidades ocorridas no último ano na empresa. Os registros das não conformidades cadastradas no sistema estão referenciados pelo código do item, seguido da quantidade e o problema apresentado. Os itens produzidos que apresentaram o mesmo modo de falha estão dispostos conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Relação e causas de itens que apresentaram não conformidades.

Relação dos itens que apresentaram anomalias		
Código	Quantidade	Causa da não conformidade
38H5103	25	Dimensão de 1.34 da profundidade do friso maior / menor
38H1388	18	Dimensão de 1.34 da profundidade do friso maior / menor
3838355	15	Dimensão de 1.34 da profundidade do friso maior / menor
2418221	12	Dimensão de 1.34 da profundidade do friso maior / menor
6V8744	8	Dimensão de 1.34 da profundidade do friso maior
6V8726	6	Dimensão de 1.34 da profundidade do friso maior / menor
RE562625.1	3	Dimensão de 1.34 da profundidade do friso menor

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 DEFINIÇÃO DAS PEÇAS E PROCESSO UTILIZADO PARA O ESTUDO

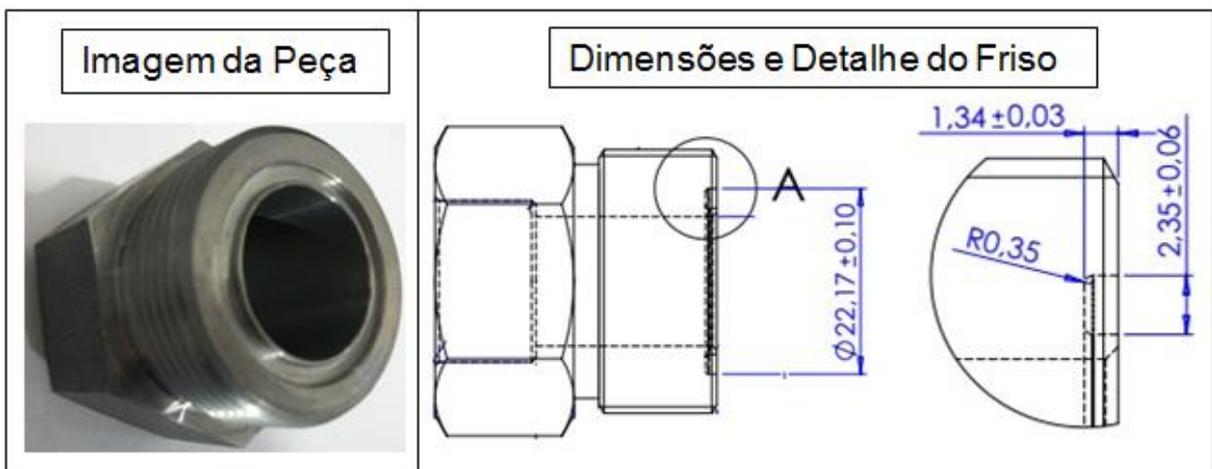
Após a realizar o mapeamento dos principais modos de falhas, para possibilitar maior abrangência na quantidade de itens, decidiu-se em analisar o problema na dimensão da profundidade do friso frontal da conexão metálica, pois esta anomalia teve a maior quantidade de registros no último ano.

Outro fator determinante na seleção de escolha da conexão a ser analisada para realizar o estudo, deve-se aos itens codificados por HXE78487 e 38H1388 que possuem a dimensão de 1,34 mm como principal não-conformidade identificada pelo cliente do produto, pois, estas conexões são montadas em mangueiras hidráulicas que geram vazamentos de óleo hidráulico quando a profundidade do friso frontal não atende a especificação do projeto.

A partir das ocorrências de anomalias nestes dois itens, a empresa realizou um plano de ação, e passou a utilizar o paquímetro digital para realizar a medição, e também aumentou a frequência de inspeção, passando a inspecionar a dimensão de 1,34 mm em praticamente 100% dos itens produzidos. Após a implementação desta ação a empresa não teve mais registros de não-conformidades em clientes finais do produto, porém o índice de itens não conformes durante o processo não teve a redução esperada, diminuiu de 7% para 4%, ou seja, o índice continua sendo considerado elevado para este processo.

Considerando os objetivos estipulados neste trabalho, seguiu-se com a análise do problema encontrado, referente ao dimensional da profundidade do friso frontal das conexões, pois a falha está presente em todos os itens analisados. A dimensão analisada e processo atual de medição podem ser observados e melhor compreendidos visualizando as Figuras 18 e 19.

Figura 18 - Imagem da conexão 38H5103 com detalhes do friso.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 19 - Fotografias do processo atual de medição.



Fonte: Realizadas pelo autor.

3.4 ESTUDO DE REPETITIVIDADE & REPRODUTIBILIDADE

O planejamento do estudo é essencial, e deve ser realizado antes do projeto da compra de equipamentos ou sistemas de medição. A fase de planejamento define o rumo a ser seguido e tem um significativo efeito sobre a qualidade do sistema de medição. Ela pode reduzir o erro de medição evitando retrabalhos na coleta dos dados necessários para realização do estudo e até mesmo garantir que não estejam sendo aprovadas peças com dimensões fora dos critérios de aceitação.

3.4.1 Procedimento detalhado da sequência adotada para o estudo

1. Usinagem e identificação das peças: foram fabricadas dez peças do item 38H5103, sendo as mesmas identificadas e numeradas de um a dez.
2. Definição do local para realizar o estudo: o estudo foi realizado em um ambiente isolado da produção, sala exclusiva utilizada pela metrologia para realizar medições em peças.
3. Definir dimensões a serem medidas: para a realização do estudo optou-se pela dimensão de 1,34 mm (profundidade do friso frontal), ver detalhe na Figura 19.
4. Definição do instrumento: o instrumento utilizado foi o paquímetro universal digital PQ-22 com resolução de 0,01mm e capacidade de 200mm. O paquímetro está em boas condições de uso, estando com sua calibração de acordo com critérios de aceitação da empresa.
5. Definição dos avaliadores: definiu-se pela participação no estudo o inspetor da qualidade e o operador do torno que produz as peças, os mesmos realizarão as 60 medições necessárias.
6. Primeira sequência de medição das peças: as peças foram medidas na ordem (10; 05; 06; 03; 07; 09; 08; 04; 02 e 01) e a primeira coleta de resultados, seguindo a ordem estabelecida foi realizada.
7. Preparou-se duas fichas com a ordem da primeira sequência das peças, sendo uma para cada avaliador preencher com os valores encontrados.
8. Realizada a primeira medição pelo inspetor, sendo as dimensões anotadas em uma ficha para posterior preenchimento na planilha do estudo.
9. Realizada a primeira medição pelo operador do torno, sendo as dimensões anotadas em outra ficha, para posterior preenchimento na planilha do estudo.

10. Segunda sequência de medição das peças: as peças foram colocadas na ordem (08; 05; 03; 01; 02; 06; 09; 10; 04 e 07) e a segunda coleta de resultados, seguindo a ordem estabelecida foi realizada.
11. Preparadas duas fichas com a ordem da segunda sequência das peças, sendo uma para cada avaliador preencher os valores medidos.
12. Realizada a segunda medição pelo inspetor, sendo as dimensões anotadas em uma ficha para posterior preenchimento na planilha do estudo.
13. Realizada a segunda medição pelo operador do torno, sendo as dimensões anotadas em outra ficha, para posterior preenchimento na planilha do estudo.
14. Terceira sequência de medição das peças: as peças foram colocadas na ordem (09; 02; 10; 07; 04; 03; 08; 01; 05 e 06) e a terceira e última coleta de resultados, seguindo a ordem estabelecida foi realizada.
15. Preparadas duas fichas com a ordem da terceira sequência das peças, sendo uma para cada avaliador preencher os valores medidos.
16. Realizada a terceira medição pelo inspetor, sendo as dimensões anotadas em uma ficha para posterior preenchimento na planilha do estudo.
17. Realizada a terceira medição pelo operador do torno, sendo as dimensões anotadas em outra ficha, para posterior preenchimento na planilha do estudo.

Após realizar a medição em cada sequência estabelecida nos itens 6, 10 e 14, a ficha com os resultados das medições executadas pelo avaliador nos itens 8, 9, 12, 13, 16 e 17, foi recolhida para que o avaliador seguinte não tivesse acesso aos valores na próxima medição ou da medição anterior, garantindo assim a imparcialidade do resultado e também para proteger os resultados de possíveis tendências na medição.

A partir dos dados coletados do processo será aplicado o estudo da análise do sistema de medição e análise da capacidade do processo produtivo, utilizando as teorias disponibilizadas no referencial bibliográfico. Para análise dos dados foi utilizado o programa Microsoft Office Excel, o qual possibilita realizar os cálculos utilizando os dados coletados aplicando as fórmulas propostas para o estudo, assim gerando os resultados numéricos e gráficos necessários para definição da validação dos processos.

3.5 PROPOSTAS DE MELHORIA PARA O PROCESSO

a) Fabricação de um dispositivo para auxiliar a realização da medição

Foi fabricado um dispositivo que permite apoiar toda a face frontal em volta do friso na base do dispositivo, servindo como referência de posicionamento da peça, evitando assim que a dimensão da profundidade seja coletada de forma errada. Para permitir que a peça sempre esteja posicionada no mesmo local, ou seja, que o centro do friso coincida com o centro do apalpador, foi montado um pino no dispositivo com diâmetro na condição mínima permissível para o furo central da peça, deste modo, se o furo estiver dentro da especificação do desenho, não terá interferência entre o furo da peça e o eixo do dispositivo.

b) Troca do instrumento de medição, atendendo o critério da resolução do instrumento, sendo a resolução $< IT/10$

Com objetivo de adequar o instrumento à situação ideal da regra de ouro, a qual determina que o instrumento tenha uma resolução de $1/10$ para tolerância total especificada, foi realizada a troca do paquímetro digital com resolução de 0,01 mm por um relógio comparador com resolução de 0,001 mm.

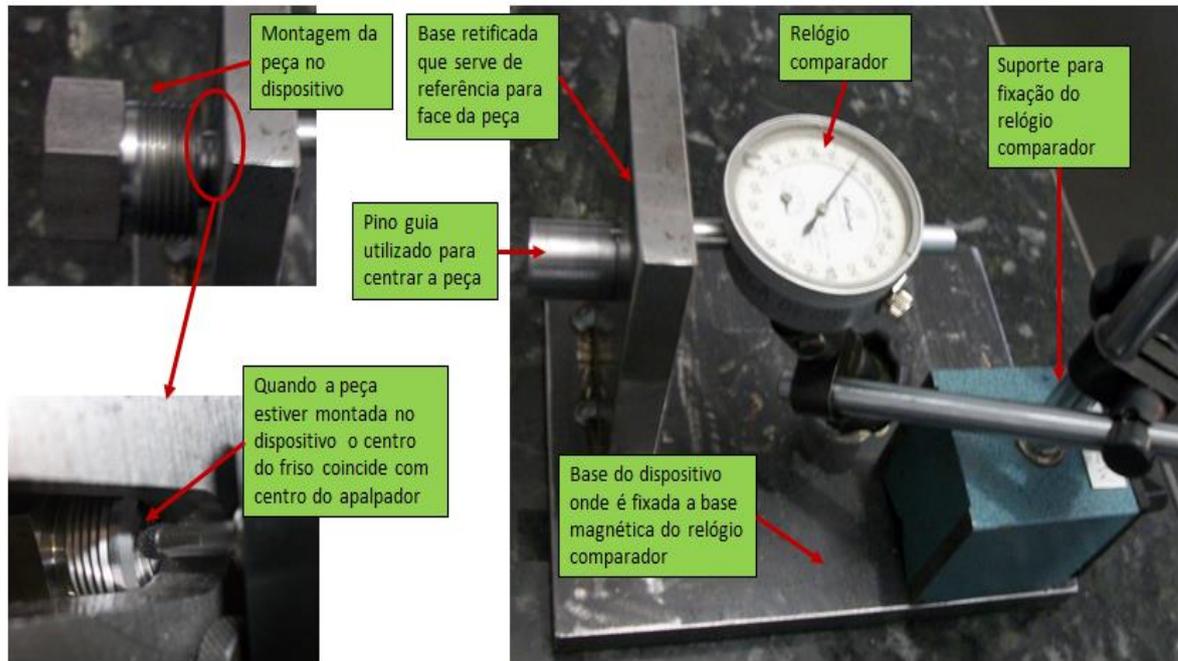
c) Criar um procedimento para realizar as medições

Para que a medição ocorra conforme o programado e com eficiência, o procedimento a seguir deve ser realizado.

1. Montar o pino guia de acordo o diâmetro do furo da peça;
2. Montar uma peça no dispositivo, posicionar o apalpador no centro do friso e fixar a base magnética do relógio comparador;
3. Retirar a peça do dispositivo;
4. Posicionar o padrão para regular o relógio do apalpador na dimensão da profundidade do friso (1,34 mm);
5. Remover o padrão do dispositivo;
6. Posicionar a peça no pino guia, pressionando levemente a mesma contra a base retificada do dispositivo e realizar a leitura da dimensão no relógio comparador;
7. Retirar a peça do dispositivo.

A melhoria proposta pode ser visualizada na Figura 20, que apresenta por imagens os detalhes do dispositivo e o sistema de medição a ser utilizado para realizar a análise.

Figura 20 - Imagem do dispositivo de medição.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a finalização da etapa de coleta dos resultados das medições, os dados foram lançados em uma planilha, utilizada para obter o resultado do estudo, possibilitando assim a análise do estudo de R&R.

4.1 ESTUDO DE R&R PARA DIMENSÃO DA PROFUNDIDADE DO FRISO FRONTAL

Os resultados obtidos em cada uma das peças, para esta característica, estão dispostos no Quadro 6.

Quadro 6 - Medições do friso frontal.

Medições da dimensão da profundidade do friso frontal (1,34 mm)										
Peça	Avaliador 01					Avaliador 02				
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	X	R	Medição 1	Medição 2	Medição 3	X	R
1	1,3500	1,3500	1,3500	1,3500	0,0000	1,3600	1,3700	1,3500	1,3600	0,0200
2	1,3600	1,3600	1,3600	1,3600	0,0000	1,3600	1,3700	1,3500	1,3600	0,0200
3	1,3600	1,3600	1,3600	1,3600	0,0000	1,3700	1,3500	1,3600	1,3600	0,0200
4	1,3600	1,3700	1,3600	1,3633	0,0100	1,3700	1,3600	1,3600	1,3633	0,0100
5	1,3600	1,3600	1,3500	1,3567	0,0100	1,3600	1,3700	1,3400	1,3567	0,0300
6	1,3700	1,3400	1,3600	1,3567	0,0300	1,3700	1,3500	1,3500	1,3567	0,0200
7	1,3300	1,3600	1,3400	1,3433	0,0300	1,3600	1,3600	1,3600	1,3600	0,0000
8	1,3400	1,3400	1,3400	1,3400	0,0000	1,3600	1,3600	1,3500	1,3567	0,0100
9	1,3500	1,3500	1,3500	1,3500	0,0000	1,3500	1,3500	1,3400	1,3467	0,0100
10	1,3700	1,3500	1,3600	1,3600	0,0200	1,3700	1,3600	1,3700	1,3667	0,0100
Média	1,3550	1,3540	1,3530	1,3540	0,0100	1,3630	1,3600	1,3530	1,3587	0,0150

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através das medições efetuadas foi possível analisar a variação e a porcentagem relativa à variação do processo, considerando a variação total do sistema de medição e seus componentes, repetitividade, reprodutibilidade e variação da peça.

Conforme pode ser observado no Quadro 7, a repetitividade e a reprodutibilidade do sistema de medição (%R&R) para esta característica representam 86,06% da variação total, que de acordo com o critério de aceitação estabelecido no manual (AIAG, 2002), não é aceitável, pois o resultado deste estudo ultrapassou 30%, indicado no manual.

Quadro 7 - Resultados numéricos para avaliação de R&R.

Relatório de R&R do sistema de medição		
Dimensão da profundidade do friso frontal (3,14mm)		
Repetitividade - Variação do Equipamento (VE)	VE	0,0074
	%VE	79,69
Reprodutibilidade - Variação entre Avaliadores (VA)	VA	0,0030
	%VA	32,50
Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R)	R&R	0,0080
	%R&R	86,06
Variação da peça (VP)	VP	0,0047
	%VP	50,92
Variação Total (VT)	VT	0,0093

Fonte: Elaborado pelo autor.

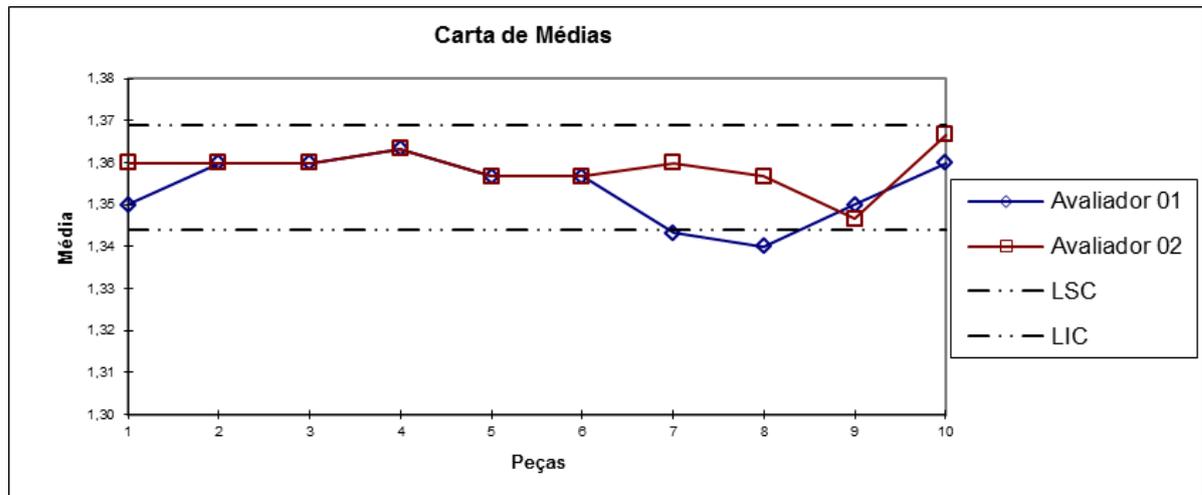
A utilização de indicadores gráficos permite a visualização das variações no processo, possibilitando a verificação sistemática dos dados e facilita o entendimento do comportamento do estudo. Na sequência estão dispostas as principais formas de avaliações gráficas para o estudo.

4.1.1 Carta de médias

As médias de múltiplas leituras feitas por cada um dos avaliadores, sobre cada uma das peças são plotadas no gráfico, que marca no eixo das abscissas o número de identificação da peça.

Este gráfico permitiu analisar a consistência entre os avaliadores, sendo que esta carta de médias resultante auxiliou na definição sobre a validade do uso deste sistema de medição. Neste caso, como pode ser observado na Figura 21, que menos da metade das medidas estão localizados além dos limites de controle, o que representa que o sistema de medição não dispõe de resolução efetiva, e não permitiu identificar a variação do processo.

Figura 21 - Carta de controle de médias.



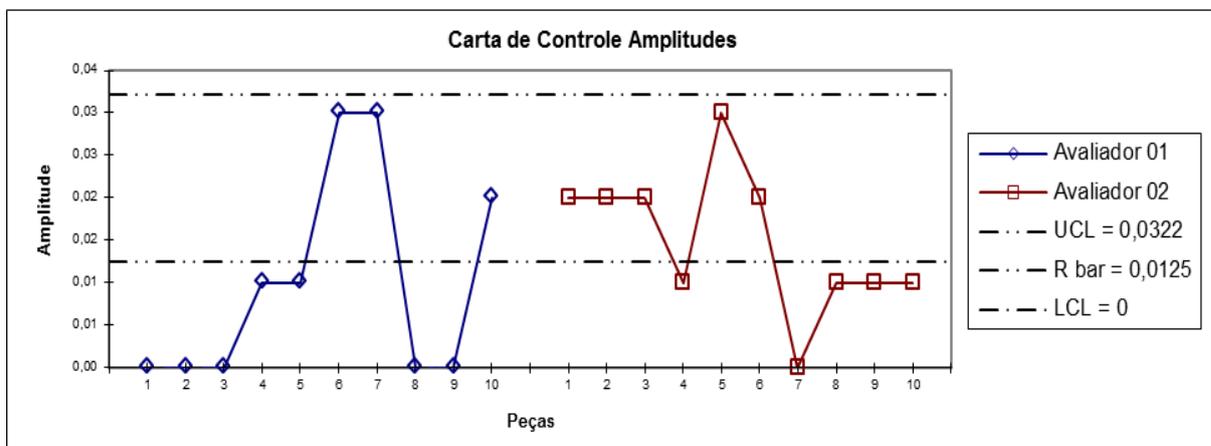
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.2 Carta de amplitudes

A utilização desta carta permitiu identificar se ocorrem causas especiais de variação que possam estar interferindo no estudo. Neste caso, como podem ser observadas na Figura 22, todas as leituras realizadas por cada avaliador estão dentro do limite de controle.

Mesmo não apresentando causas especiais aparentes, é possível identificar que existem diferenças entre a variabilidade dos avaliadores. A partir desta análise dos dados, foi possível identificar se há necessidade de treinamento dos avaliadores, e ou, a revisão do procedimento de medição, com uma possível substituição do instrumento utilizado para medição.

Figura 22 - Carta de controle de amplitudes.

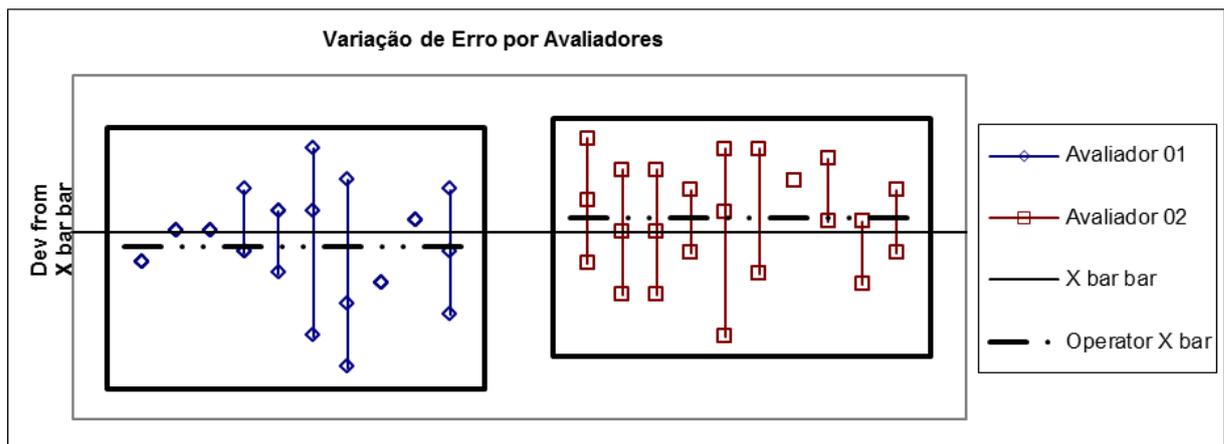


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.3 Carta de erros

Os dados dispostos nesta carta permitiram analisar os desvios individuais para cada valor encontrado por avaliador. Conforme pode ser visualizado na Figura 23, o avaliador 01 possui menor variabilidade e uma tendência negativa, já o avaliador 02, tem maior variabilidade e tendência positiva para os valores encontrados nas medições.

Figura 23 - Carta de controle de erros.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme evidenciado no relatório dos cálculos numéricos, graficamente, o resultado também demonstrou variabilidade nos valores relatados.

4.2 ESTUDO DE CAPABILIDADE DO PROCESSO

A capacidade pode ser especificada por meio de índices que quantificam o nível de desempenho do processo em atender as especificações do produto. Através destes índices foi possível analisar e classificar o processo de acordo com sua capacidade.

O estudo de capacidade foi aplicado na dimensão da profundidade do friso frontal, pois conforme definido anteriormente, esta anomalia gera índices acima do esperado para itens não-conformes durante um processo produtivo.

4.2.1 Estudo da capacidade na dimensão da profundidade do friso

Para realizar a coleta de dados deste estudo, foram segregadas 30 amostras de peças do item 38H5103, onde a dimensão de 1,43 mm foi medida pelo mesmo operador, e com o mesmo paquímetro utilizado para o estudo de R&R, realizado anteriormente. Os resultados obtidos ao realizar a medição das peças estão dispostos no Quadro 8.

Quadro 8 - Resultados da medição de trinta peças do friso frontal.

Medições da profundidade do friso frontal (1,34 mm)					
Peça	Dimensão	Peça	Dimensão	Peça	Dimensão
1	1,360	11	1,330	21	1,360
2	1,360	12	1,350	22	1,360
3	1,360	13	1,350	23	1,360
4	1,360	14	1,360	24	1,370
5	1,370	15	1,350	25	1,350
6	1,340	16	1,340	26	1,360
7	1,340	17	1,350	27	1,360
8	1,350	18	1,370	28	1,340
9	1,340	19	1,340	29	1,360
10	1,350	20	1,360	30	1,350

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1.1 Representações gráficas da capacidade do processo

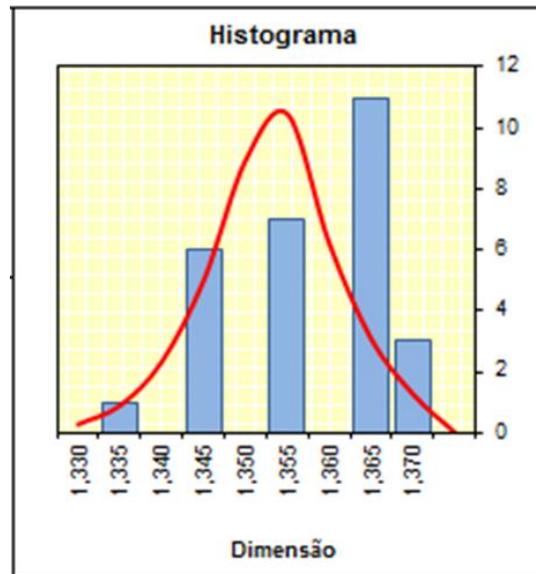
Neste estudo a análise do processo foi classificada em duas partes, na primeira etapa analisou-se as representações gráficas apresentadas nas Figuras 24 e 25. Já na segunda etapa são analisados os resultados numéricos, conforme a Figura 26.

4.2.1.1.1 Histograma

O histograma é a representação gráfica da distribuição de frequências dos valores medidos nas peças de amostragem utilizadas. Com base neste gráfico foi possível identificar a capacidade do processo, bem como prever uma estimativa de peças passíveis de rejeição neste processo.

De acordo com a Figura 24, podem ser observados nas barras, os valores encontrados nas medições realizadas, onde pode-se observar que algumas peças apresentam valores acima da linha modelada pela curva normal, considerando um processo centralizado e com campo de tolerância bilateral.

Figura 204 - Histograma.



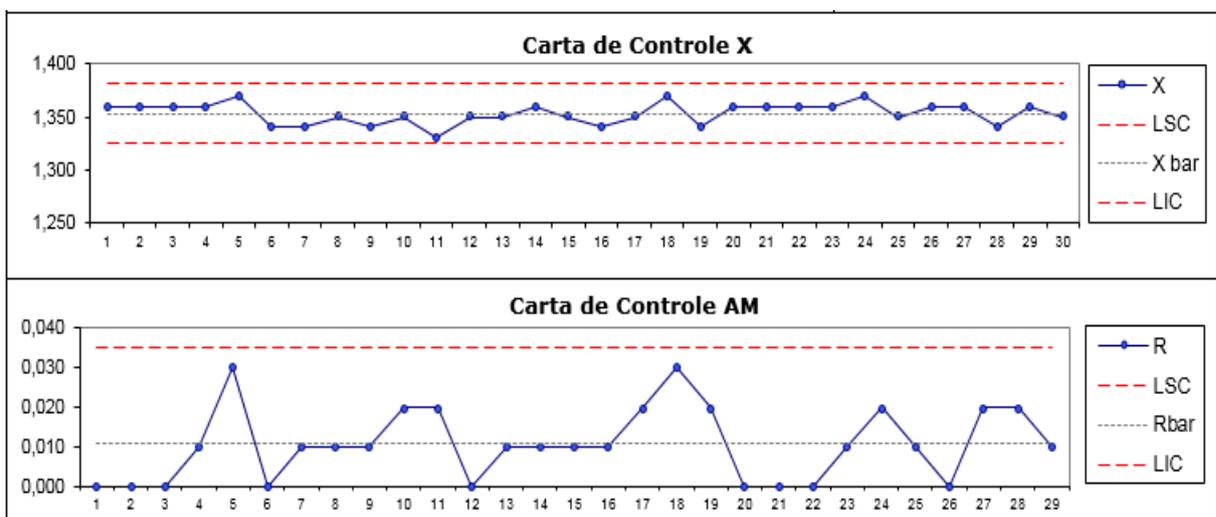
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1.1.2 Cartas de controle de média e amplitude

A carta de controle X-AM mostra que o processo está sob controle e não apresenta causas especiais, ou seja, todos os valores apresentados no gráfico estão dentro dos limites de controle.

A carta de controle das médias indica que há um deslocamento na variabilidade do processo com relação à centralização do processo. Conforme pode-se visualizar na Figura 25, as dimensões encontradas tendem estar próximas do limite superior de controle.

Figura 215 - Carta de média e amplitude.



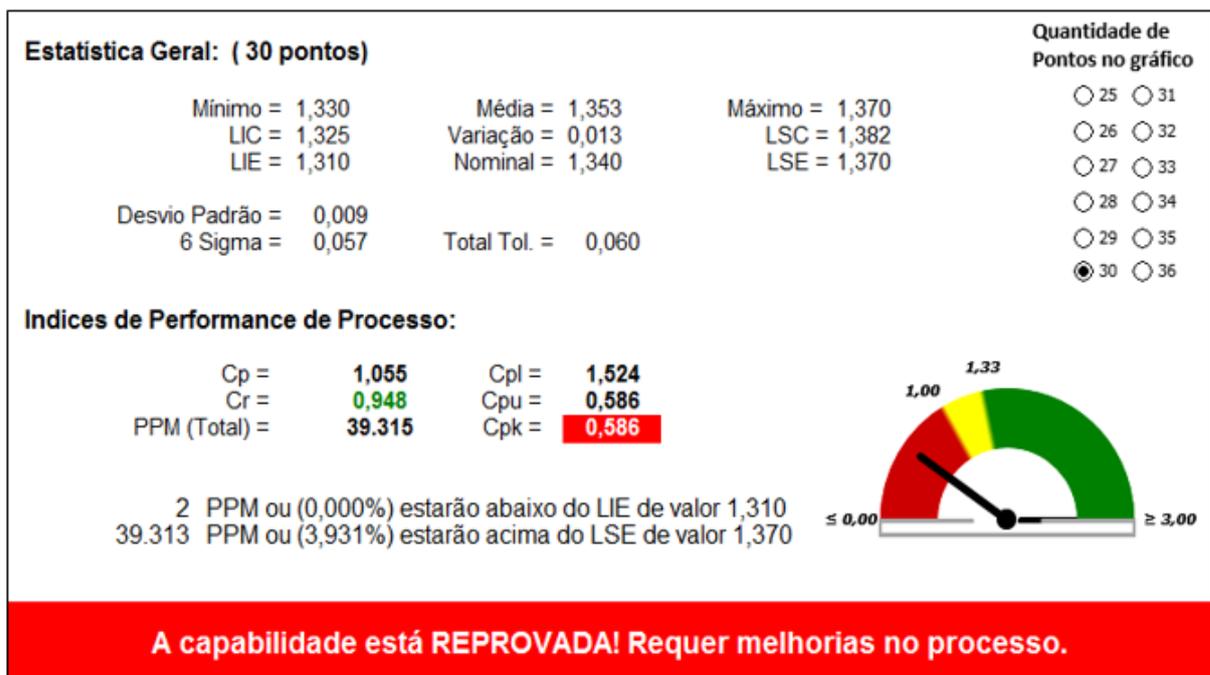
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.1.2 Resultados dos cálculos da capacidade do processo

De acordo com os resultados gráficos apresentados anteriormente, o processo se encontra sob controle estatístico, ou seja, livre de causas especiais. A partir desta confirmação pode-se realizar o método de avaliação do estudo de capacidade do processo, a fim de comprovar que o processo utilizado para fabricação dos itens, atende as especificações de projeto, ou seja, o processo de fabricação é capaz.

Com base na coleta dos dados das medições realizadas em 30 peças, foi possível determinar os indicadores de Cp e Cpk para o processo atual, sendo os resultados apresentados na Figura 26.

Figura 226 - Resultados numéricos para avaliação da capacidade.



Fonte: Elaborados pelo autor.

4.2.1.2.1 Índice de capacidade potencial do processo. (Cp)

Este índice compara a capacidade do processo com a variação máxima permitida pela tolerância do projeto e quanto maior for o seu valor, maior será a capacidade do processo em satisfazer às especificações, desde que a média esteja centrada no valor nominal. Neste caso o valor calculado foi de 1,055, conforme pode ser visualizado na Figura 26.

4.2.1.2.2 Índice de capacidade do processo. (Cpk)

Permite avaliar se o processo está atendendo ao valor nominal de especificação e seu valor sempre será menor, ou no máximo, igual ao Cp. O cálculo foi realizado utilizando o limite superior de tolerância Cpu e o limite inferior da tolerância Cpl e conforme destacado na Figura 26, o valor do Cpk encontrado entre Cpu e Cpl, corresponde 0,586.

4.3 ANÁLISES DOS RESULTADOS ATUAIS DO R&R E DA CAPABILIDADE DO PROCESSO

4.3.1 Análise do estudo de R&R

As análises realizadas identificam que o sistema de medição não está adequado à necessidade do projeto, portanto, se faz necessário realizar melhorias no sistema de medição, com o objetivo de adequar o mesmo ao processo, tornando-o capaz e adequado para garantir que o dimensional das peças atenda a especificação do projeto.

4.3.1.1 Pontos identificados na análise do estudo de R&R

a) Instrumento utilizado

De acordo com o manual AIAG (2002), a discriminação do instrumento deve dividir a tolerância total da dimensão em dez partes ou mais. Neste caso a tolerância especificada pelo projeto é de 0,06 mm, o que determina que o paquímetro digital utilizado não seja o recomendado para esta situação, pois sua resolução é de 0,01 mm.

b) Geometria da peça

A peça não apresenta uma superfície adequada para apoiar o instrumento no momento de realizar a medição. Esta deficiência pode ser observada na carta de amplitudes e carta de erros, onde percebe-se grande variabilidade nos valores encontrados, entre as peças e avaliadores.

c) Método de medição

Não possui um procedimento descrito, indicando como deve ser realizada a medição. Cada operador realiza a medição de modo diferente, conforme sua afinidade com a peça e instrumento. Esta variabilidade pode ser observada na carta de erros.

4.3.2 Análise do estudo de capacidade do processo

De acordo com os resultados encontrados para os índices de Cp 1,055 (entre 1,0 e 1,33) e Cpk 0,586 (<1,0), seguindo os critérios de aceitação, entende-se que o processo não produz continuamente peças conforme as especificações. Para que o processo atenda plenamente as especificações do projeto é necessário que ambos os índices estejam com valor maior ou igual a 1,33.

A taxa de não-conformidade em partes-por-milhão PPM, pode ser usada como medida suplementar para a capacidade do processo, neste caso, estimasse que o processo produz em torno de 39.313 peças com dimensão acima ou abaixo da especificação, a cada milhão de peças produzidas, que corresponde ao percentual de 3,93% das peças.

4.4 ESTUDO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CAPABILIDADE DO PROCESSO, REALIZADO APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS

4.4.1 Estudo do sistema de medição

O estudo da nova análise foi realizado seguindo as mesmas determinações do estudo do processo atual, porem com as adequações necessárias à utilização do dispositivo proposto. Os resultados obtidos nas medições estão dispostos no Quadro 9.

Quadro 9 - Medições do friso frontal utilizando dispositivo.

Medições da dimensão da profundidade do friso frontal utilizando dispositivo (1,34 mm)										
Peça	Avaliador 01					Avaliador 02				
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	X	R	Medição 1	Medição 2	Medição 3	X	R
1	1,3400	1,3400	1,3380	1,3393	0,0020	1,3400	1,3420	1,3400	1,3407	0,0020
2	1,3430	1,3420	1,3430	1,3427	0,0010	1,3440	1,3430	1,3420	1,3430	0,0020
3	1,3440	1,3430	1,3420	1,3430	0,0020	1,3420	1,3430	1,3420	1,3423	0,0010
4	1,3360	1,3350	1,3350	1,3353	0,0010	1,3380	1,3360	1,3360	1,3367	0,0020
5	1,3400	1,3410	1,3390	1,3400	0,0020	1,3390	1,3390	1,3400	1,3393	0,0010
6	1,3480	1,3470	1,3470	1,3473	0,0010	1,3490	1,3490	1,3470	1,3483	0,0020
7	1,3410	1,3410	1,3400	1,3407	0,0010	1,3410	1,3420	1,3420	1,3417	0,0010
8	1,3390	1,3390	1,3400	1,3393	0,0010	1,3400	1,3390	1,3390	1,3393	0,0010
9	1,3440	1,3450	1,3440	1,3443	0,0010	1,3470	1,3470	1,3450	1,3463	0,0020
10	1,3380	1,3380	1,3380	1,3380	0,0000	1,3400	1,3390	1,3380	1,3390	0,0020
Média	1,3413	1,3411	1,3406	1,3410	0,0012	1,3420	1,3419	1,3411	1,3417	0,0016

Fonte: Elaborada pelo autor.

O estudo da repetitividade e reprodutibilidade utilizando os valores das dimensões coletadas representa um índice de 24,48% da variação total, conforme pode ser visualizado no Quadro 10. De acordo com os critérios de aprovação do manual (AIAG, 2002), este valor pode ser aceito com base na importância da aplicação do produto, no custo do equipamento de medição e no custo para possibilitar novas melhorias no processo.

Quadro 10 - Resultados numéricos para avaliação de R&R utilizando dispositivo.

Relatório de R&R do sistema de medição		
Dimensão da profundidade do friso frontal (3,14mm)		
Repetitividade - Variação do Equipamento (VE)	VE	0,0008
	% VE	21,54
Reprodutibilidade - Variação entre Avaliadores (VA)	VA	0,0004
	%VA	11,63
Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R)	R&R	0,0009
	%R&R	24,48
Variação da peça (VP)	VP	0,0037
	%VP	96,96
Variação Total (VT)	VT	0,0038

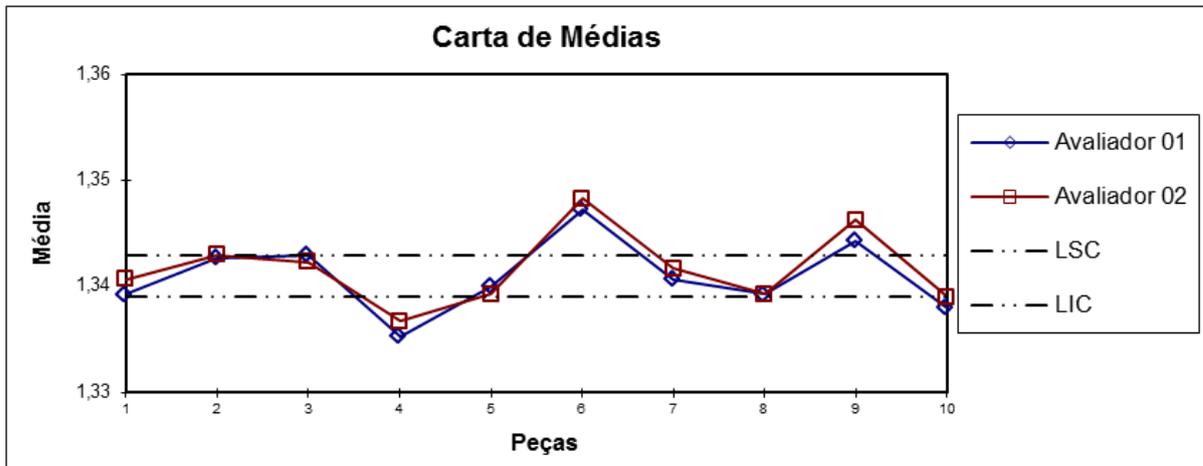
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, para facilitar o entendimento das variações no processo, estão dispostos os principais indicadores gráficos respectivos ao estudo do sistema de medição.

4.4.1.1 Carta de Médias

Este gráfico auxilia na determinação da consistência entre os avaliadores, como pode ser observado na Figura 27, aproximadamente metade ou mais das médias plotadas situam-se fora dos limites de controle, neste caso pode-se afirmar que o sistema de medição está adequado para detectar a variação de peça-a-peça, e desta forma gerando informações úteis para análise e controle do processo de produção.

Figura 23 - Carta de controle de médias utilizando dispositivo.

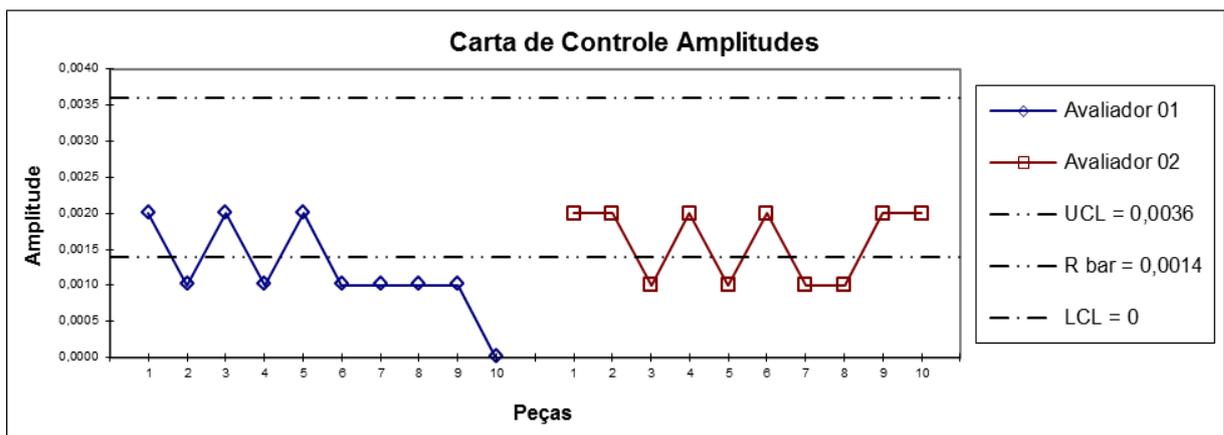


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4.1.2 Carta de amplitudes

Neste gráfico (Figura 28), percebe-se que as diferenças entre as variabilidades dos avaliadores diminuíram se comparando com o gráfico do estudo anterior sem a utilização do dispositivo. Esta análise indica que a consistência do processo de medição entre os avaliadores para cada peça está aceitável, pois não apresenta causas especiais que possam estar interferindo no processo.

Figura 24 - Carta de controle de amplitudes utilizando dispositivo.



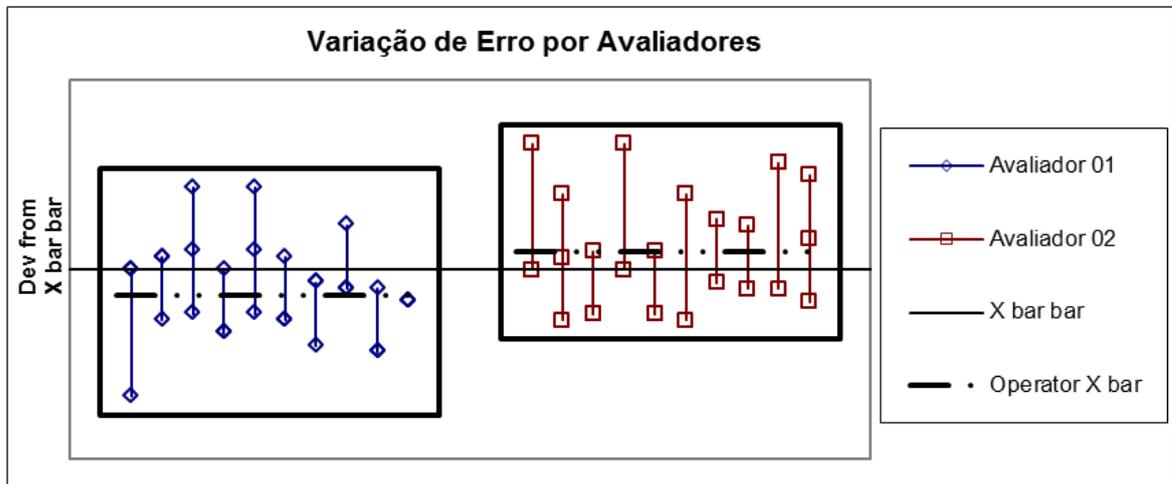
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4.1.3 Carta de erros

Ao analisar os dados do gráfico na Figura 29, é possível verificar que os desvios individuais nos valores encontrados possuem uma variabilidade similar para ambos, e a

tendência entre os avaliadores continua a mesma, onde o avaliador 01 apresenta uma tendência negativa e o avaliador 02 positiva.

Figura 25 - Carta de controle de erros utilizando dispositivo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4.2 Estudo da capacidade do processo

O estudo de capacidade utilizando o dispositivo foi realizado na mesma condição do anterior, novamente foram segregadas 30 peças do item 38H5103 e medidas pelo avaliador 02, sendo apontados os resultados no Quadro 11.

Quadro 11 - Resultado da medição de trinta peças utilizando dispositivo.

Medições 30 peças utilizando dispositivo (1,34 mm)					
Peça	Dimensão	Peça	Dimensão	Peça	Dimensão
1	1,330	11	1,335	21	1,352
2	1,346	12	1,339	22	1,338
3	1,345	13	1,339	23	1,333
4	1,341	14	1,337	24	1,343
5	1,341	15	1,346	25	1,342
6	1,337	16	1,338	26	1,340
7	1,338	17	1,344	27	1,344
8	1,344	18	1,343	28	1,346
9	1,337	19	1,341	29	1,348
10	1,333	20	1,337	30	1,344

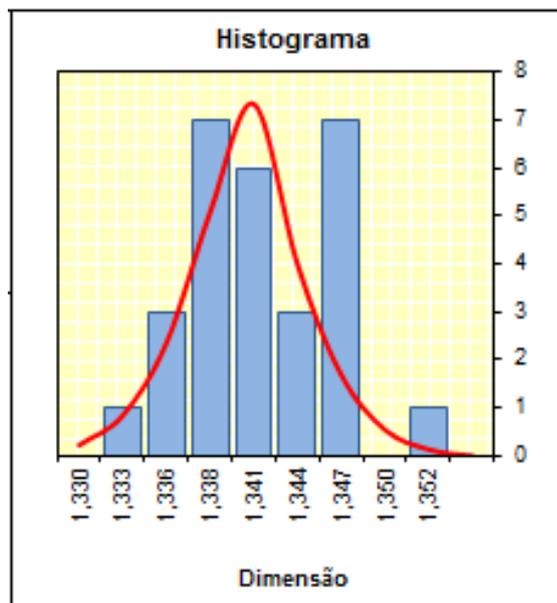
Fonte: Elaborado pelo autor.

As representações gráficas foram analisadas através do histograma e cartas de controle de média e amplitude, seguindo os mesmos padrões adotados na análise anterior sem o dispositivo.

4.4.2.1 Histograma

Neste gráfico da Figura 30, observa-se que algumas barras estão com valores a cima da linha modelada pela curva normal, porém como os valores encontrados estão centrados, ou seja, próximos ao valor nominal da dimensão, não teremos peças fabricadas fora dos limites de tolerância especificados pelo projeto.

Figura 26 - Histograma utilizando dispositivo.



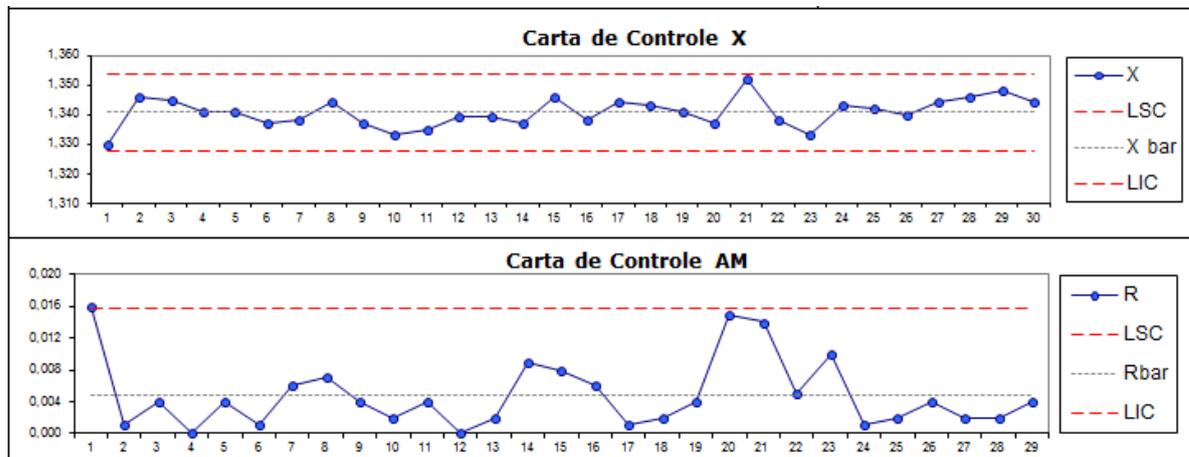
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2.2 Cartas de controle de média e amplitude

Na carta de controle da Figura 31, pode-se definir que o processo não apresenta causas especiais, todos os valores apontados estão dentro dos limites de controle.

Na carta de controle das médias percebe-se que as dimensões encontradas estão próximas ao valor nominal de 1,34 mm, indicando que o processo é capaz de produzir peças que atendam a especificação do projeto, mantendo uma margem de segurança, tanto para o limite superior de controle como para o limite inferior de controle.

Figura 27 - Carta de média e amplitude utilizando dispositivo.

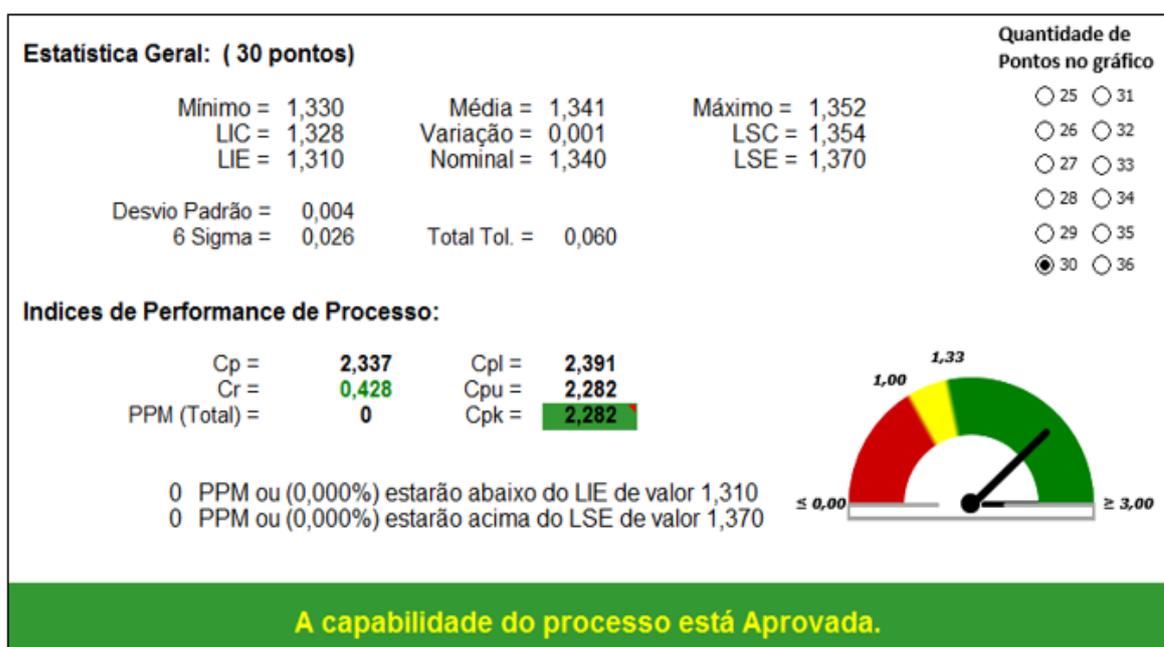


Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da análise gráfica na Figura 32, identificou-se que o processo não apresenta causas especiais, assim sendo, foram aplicados os cálculos que determinam os índices de capacidade do processo, Cp e Cpk.

O cálculo do índice do Cp teve um resultado de 2,34, que libera o processo como capaz de atender a especificação do projeto. O índice de Cpk apresenta um resultado de 2,28, assim determinando-se que o processo está centrado, operando com certa margem de segurança quando comparado com a tolerância estabelecida pelo projeto.

Figura 28 - Resultados numéricos para avaliação da capacidade utilizando dispositivo.



Fonte: Elaboradas pelo autor.

4.5 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

As atividades do estudo, e as análises do sistema de medição e da capacidade do processo foram desenvolvidas seguindo as orientações no manual AIAG, desta forma admite-se que os resultados encontrados estão de acordo com padrões estabelecidos para o estudo proposto pelo trabalho.

A análise do processo atual mostrou que o sistema de medição utilizado não estava de acordo para atender as especificações de tolerância do projeto, o instrumento utilizado não era adequado para realizar a medição, pois o dimensional encontrado a cada avaliação não representava a real dimensão da peça, devido a dificuldade do avaliador em posicionar o paquímetro corretamente sobre a peça para realizar a leitura da dimensão.

No estudo de capacidade do processo atual identifica-se que o processo não é capaz de produzir peças dentro da especificação do projeto, pois a incerteza no dimensional encontrado possibilitava que peças defeituosas fossem consideradas como peças conformes, permitindo assim que peças com anomalias chegassem até o cliente final do produto.

A nova proposta para medição da dimensão da profundidade do friso frontal da conexão mostrou resultados satisfatórios, diminuindo a variabilidade nas dimensões encontradas. Com isso, a qualidade das peças aumentou, pois, nas análises realizadas demonstrou-se a capacidade do processo em identificar e atender as especificações do projeto, assim peças com defeitos serão segregadas durante o processo e não chegarão até o cliente.

CONCLUSÃO

A qualidade atribuída aos produtos, comporta competitividade e credibilidade diferenciada para a empresa que os produz, tornando o relacionamento com o cliente mais confiável e duradouro.

O controle da qualidade é o processo mais utilizado pelas empresas para garantir que os produtos sejam fabricados de acordo com as especificações do projeto, sendo assim, o processo deve ser apropriado e qualificado, a fim de identificar qualquer tipo de anomalia ocorrida durante a fabricação de um produto, para que somente produtos que atendem as especificações do projeto sejam entregues aos próximos clientes.

Para o atendimento aos estudos e análises propostas, foram seguidos os objetivos específicos anteriormente definidos, onde a primeira etapa foi a identificação dos itens com maior reincidência de anomalias, para posteriormente tomar a decisão de qual o item e qual o problema a ser investigado neste trabalho.

Com a identificação do item a ser estudado, iniciou-se a análise do processo atual de medição e o estudo de capacidade do processo atual, sendo evidenciado que o processo utilizado não estava adequado para atender as especificações estabelecidas pelo projeto. Os resultados do MSA indicaram que a resolução do instrumento e a dificuldade em posicionar o instrumento para realizar a medição, eram as principais deficiências do processo. O estudo de capacidade também identificou que 4% das peças produzidas estariam com dimensional acima da especificação do projeto.

Após a análise do processo atual, identificou-se a necessidade de aprimorar o processo de medição, sendo implementado um dispositivo para posicionar a peça, e um relógio comparador para realizar a medição da dimensão da profundidade do friso, desta forma eliminou-se o problema referente ao posicionamento incorreto do instrumento de medição.

Para validação da proposta realizou-se um novo estudo de MSA e de capacidade do processo, onde os resultados da análise do processo de medição mostraram-se satisfatórios. Do mesmo modo os resultados da capacidade do processo foram positivos, pois o resultado apresentado nos cálculos define o processo como capaz, ou seja, as peças produzidas estão dentro do valor nominal especificado pelo projeto.

Com as avaliações das propostas concluídas, o estudo demonstrou-se satisfatório, de modo que, a condição proposta proporciona maior confiabilidade, produtividade e qualidade

nos resultados dimensionais encontrados, aumentado à credibilidade e a competitividade da empresa nos produtos entregues aos clientes.

Como sugestão para redução no índice de anomalias no processo produtivo, indica-se a análise do processo de medição e realização de estudos de capacidade do processo, para os demais itens produzidos ou itens que apresentam não conformidades frequentes. Esta análise proporcionará a identificação de falhas relativas aos processos, determinando se existe a necessidade de realizar melhorias e onde as mesmas devem ser realizadas, para assim obter maior qualidade e produtividade nos produtos da empresa estudada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Análise dos Sistemas de Medição**. Brasília: ABDI, 2013.

ALBERTAZZI, A. G. Jr.; SOUSA, A. R. de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. 1 ed. Barueri: Manole, 2008.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **Análise dos Sistemas de Medição MSA**. 3 ed. São Paulo: IQA, 2002.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **Controle Estatístico do Processo CEP**. 2 ed. São Paulo: IQA, 2005.

BORROR, C. M. (editor). **The certified quality engineer handbook**. 3 ed. Milwaukee, EUA: ASQ, 2008.

CAMPOS, V. F. **TQC Controle da Qualidade Total (No Estilo Japonês)**. 2 ed. Belo Horizonte: Bloch, 1992.

CROSBY, P. **Qualidade é investimento**. 7 ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1999.

DEMING, E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.

FEIGENBAUM, A. V. **Controle da qualidade total: gestão e sistemas**. São Paulo: Makron, 1994.

GALUCH, L. **Modelo para implementação das ferramentas básicas do controle estatístico do processo – CEP em pequenas empresas manufatureiras**. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

JURAN, J. M.; GODFREY, A. Blanton. **Juran's quality handbook**. 5 ed. New York: McGraw-Hill, 1999.

JURAN, J. M.; G. B. A. **Juran's quality handbook**. 5 ed. 1998.

MITUTOYO SUL AMERICANA. CATÁLOGO GERAL DE PRODUTOS P-2016. Disponível em: <<http://www.mitutoyo.com.br/novosite/download/catalogos.html>>. Acesso em: 11 out. 2016.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004.

OLIVEIRA, O. J. **Gestão da Qualidade: Tópicos avançados**. São Paulo: Cengage Learning, 2004.

PRADO, D. **Planejamento e controle de projetos**. Nova Lima: INDG, 2004.

THEISEN, A. M. de F. **Fundamentos da Metrologia Industrial**. Porto Alegre: Editografia Ltda, 1997.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. 2 ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.