

UNIVERSIDADE FEEVALE

FELIPE KOCHHANN BERGESCH

**ANÁLISE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO (MSA): UMA FERRAMENTA DE IMPACTO
NA QUALIDADE DO PROCESSO**

NOVO HAMBURGO

2012

FELIPE KOCHHANN BERGESCH

**ANÁLISE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO (MSA): UMA FERRAMENTA DE IMPACTO
NA QUALIDADE DO PROCESSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Curso de Engenharia Industrial Mecânica – Habilitação em Gerenciamento Industrial na Universidade Feevale.

Professor Orientador: Me. Sidnei Lopes Dias

Novo Hamburgo

2012

FELIPE KOCHHAN BERGESCH

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Industrial Mecânica, com título **Análise de Sistema de Medição (MSA): uma ferramenta de impacto na qualidade do processo**, submetido ao corpo docente da Universidade Feevale, como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Curso de Engenharia Industrial Mecânica – Habilitação em Gerenciamento Industrial.

Aprovado por:

Prof. Me. Sidnei Lopes Dias
Orientador

Banca Examinadora

Banca Examinadora

Banca Examinadora

Novo Hamburgo, novembro de 2012.

AGRADECIMENTO

Agradeço aos professores e colegas da Feevale, pelo convívio e pelos conhecimentos adquiridos durante o período de formação. Agradeço em especial aos meus pais, irmãos e namorada pelo apoio para realização não só deste trabalho, mas também para meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Dedico este trabalho à minha família, namorada e amigos por terem sido meu alicerce para a realização desta conquista.

“Um planejamento cuidadoso é capaz de
vencer quase todas as dificuldades.”

(Amiano Marcelino)

RESUMO

O mercado consumidor está exigindo cada vez mais qualidade nos produtos adquiridos, obrigando que as indústrias tracem métodos de trabalho e controle de seus produtos e processos. Controle de processo com qualidade nos dados coletados detecta os problemas no momento e no local em que eles ocorrem, evita desperdício de material, mão-de-obra, refugo e retrabalhos e aponta oportunidades de melhorias. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar estudos iniciais de processo com o sistema de medição padrão da empresa e com um sistema de medição proposto pelo acadêmico. Na fundamentação teórica, foram abordados assuntos como qualidade, ferramentas da qualidade, ferramentas estatísticas de processo, através do Controle Estatístico do Processo (CEP) e Análise do Sistema de Medição (MSA). A metodologia do trabalho foi realizada com base na pesquisa quantitativa e bibliográfica. O estudo de caso baseou-se em técnicas de coleta e análise de dados. Através da análise de dados percebeu-se a melhoria do resultado do sistema de medição proposto pelo acadêmico e a melhoria dos índices de desempenho de processo. Ao final do estudo, confirmou-se que é possível atender a qualidade do processo de fabricação melhorando somente o sistema de medição.

Palavras-chave: Qualidade. Processo. Controle Estatístico do Processo (CEP). Análise do Sistema de Medição (MSA).

ABSTRACT

The consumer market is demanding more quality products acquired, forcing industries to plot the working methods and control of their products and processes. Quality control process with the data collected detects problems at the time and place in which they occur, avoids waste of material, manpower, scrap and rework and points improvement opportunities. Accordingly, the present study aims at assessing initial process studies with the measurement system company's standard and a measurement system proposed by academic. In theoretical, were addressed issues like quality, quality tools, statistical tools to process through the Statistical Process Control (SPC) and Measurement Systems Analysis (MSA). The methodology of the study was based on quantitative research and literature. The case study was based on techniques of collecting and analyzing data. By analyzing data realize an improvement of the result of the measurement system proposed by academic and improving process performance indices. At the end of the study, it was confirmed that it is possible to meet the quality of the manufacturing process by improving only the measurement system.

Key words: Quality. Process. Statistical Process Control (SPC). Measurement Systems Analysis (MSA).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de Controle de Processo	27
Figura 2: Conceito de População e amostra	28
Figura 3: Exemplo de Gráfico de Histograma.....	30
Figura 4: Exemplo de Gráfico de Probabilidade	31
Figura 5: Processo previsível	33
Figura 6: Processo não previsível	33
Figura 7: Exemplo de Gráfico de Controle	34
Figura 8: Exemplo de Gráfico de Histograma não normal.....	37
Figura 9: Processo de Sistema de Medição	40
Figura 10: Conceito de Exatidão e Precisão	43
Figura 11: Exemplo Componentes da Variação	48
Figura 12: Exemplo Medida por Peça	49
Figura 13: Exemplo Carta de Amplitude por Operador	49
Figura 14: Exemplo Medida por Operador	49
Figura 15: Exemplo Carta XBar por Operador	50
Figura 16: Exemplo Interação de Peça x Operador	50
Figura 17: Foto aérea da empresa	55
Figura 18: Equipamentos fabricados	56
Figura 19: Equipamentos CNCs	56
Figura 20: Atuador linear elétrico	57
Figura 21: Engrenagem.....	58
Figura 22: CNC Mazak 100MII	58
Figura 23: Micrometro interno 3 pontos.....	60
Figura 24: Comparador de diâmetro interno	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resumo dos Critérios de Causas Especiais.....	32
Quadro 2: Quadro de fórmulas de cálculo de R&R	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Registro de coleta de dados do R&R do sistema de medição atual.....	61
Tabela 2: Cálculo de R&R do sistema de medição atual	62
Tabela 3: Registro de coleta de dados do CEP do sistema de medição atual	65
Tabela 4: Registro de coleta de dados do R&R do sistema de medição proposto....	70
Tabela 5: Cálculo de R&R do sistema de medição proposto	71
Tabela 6: Registro de coleta de dados do CEP do sistema de medição proposto	74
Tabela 7: Comparação dos resultados dos sistemas de medição	79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Componentes de variação do sistema de medição atual.....	62
Gráfico 2: Medida por peça do sistema de medição atual.....	62
Gráfico 3: Carta de amplitude por operador do sistema de medição atual.....	63
Gráfico 4: Medida por operador do sistema de medição atual.....	63
Gráfico 5: Carta Xbar por operador do sistema de medição atual.....	64
Gráfico 6: Interação de peça x operador do sistema de medição atual.....	64
Gráfico 7: Teste de normalidade com sistema de medição atual.....	65
Gráfico 8: Carta Xbar-R com sistema de medição atual.....	67
Gráfico 9: Carta I-MR com sistema de medição atual.....	68
Gráfico 10: Desempenho do processo com sistema de medição atual.....	69
Gráfico 11: Componentes de Variação do sistema de medição proposto.....	71
Gráfico 12: Medida por peça do sistema de medição proposto.....	72
Gráfico 13: Carta de amplitude por operador do sistema de medição proposto.....	72
Gráfico 14: Medida por operador do sistema de medição proposto.....	72
Gráfico 15: Carta Xbar por operador do sistema de medição proposto.....	73
Gráfico 16: Interação de peça x operador do sistema de medição proposto.....	73
Gráfico 17: Teste de normalidade do sistema de medição proposto.....	74
Gráfico 18: Carta Xbar-R com sistema de medição proposto.....	76
Gráfico 19: Carta I-MR com sistema de medição proposto.....	77
Gráfico 20: Desempenho do processo com sistema de medição proposto.....	78
Gráfico 21: Comparação Gráficos Medida por peça.....	80
Gráfico 22: Comparação Gráficos Medida por operador.....	80
Gráfico 23: Comparação Gráficos de Desempenho de Processo.....	82

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 QUALIDADE	16
1.1 CONCEITO	16
1.2 QUALIDADE TOTAL	17
1.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE	19
1.3.1 Norma ISO 9001	20
1.3.2 Norma ISO TS 16949	21
2 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS DE PROCESSO	25
2.1 CEP – CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	25
2.1.1 História do CEP	25
2.1.2 Objetivo do CEP	26
2.1.3 Conceitos	26
2.1.4 Estatísticas Básicas	28
2.1.5 Tipos de Dados	29
2.1.6 Gráficos Estatísticos	30
2.1.8 Capacidade e Desempenho do Processo	35
2.1.9 Estudos Iniciais do Processo	39
2.1 MSA – ANÁLISE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO	40
2.1.1 Sistema de Medição	40
2.1.2 Objetivos MSA	43
2.1.3 Instrumentos de Medição	44
2.1.4 R&R - Repetitividade e Reprodutibilidade	45
2.1.4.1 Aplicação do R&R	46
3 METODOLOGIA	51
4 ESTUDO DE CASO	54
4.1 HISTÓRICO DA EMPRESA	54
4.2 PROBLEMA	57
4.3 COLETA DE DADOS SISTEMA DE MEDIÇÃO PADRÃO	59
4.3.1 MSA – Análise de Sistema de Medição	59
4.3.2 CEP – Controle Estatístico de Processo	64
4.4 COLETA DE DADOS SISTEMA DE MEDIÇÃO PROPOSTO	69
4.4.1 MSA – Análise de Sistema de Medição	69
4.4.2 CEP – Controle Estatístico de Processo	73

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	79
CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
REFERÊNCIAS.....	85

INTRODUÇÃO

O mercado consumidor está exigindo cada vez mais qualidade nos produtos adquiridos, obrigando assim que a indústria trace métodos de trabalhos na fabricação e controle de seus produtos e processos. A concorrência, o aumento de produção, a posição de uma organização visando considerável participação no mercado, torna imprescindível o uso de metodologias capazes de simplificar operações, evoluir a produtividade na execução de tarefas e reduzir custos de fabricação. Tudo isso, necessariamente passará por rigorosos controles dos processos durante a produção. Controle de processo com qualidade nos dados coletados detecta os problemas no momento e no local em que eles ocorrem, evita desperdício de material, mão-de-obra, refugo e retrabalhos e aponta oportunidades de melhorias.

As indústrias do mercado automotivo leve e pesado exigem de seus fornecedores que, além de evidenciar a qualidade do desempenho do produto, devem também evidenciar o atendimento da qualidade do processo de fabricação de características críticas do produto, através de ferramentas estatísticas de processos.

A empresa BP Bode Proar Ltda de acordo com sua política de qualidade pensa em evoluir constantemente seus produtos, processos e pessoas e melhorar continuamente a qualidade. Aplica ferramentas estatísticas da qualidade que medem e monitoram a produção, apontando desvios nos produtos ou no processo de fabricação. O uso destas técnicas é baseado a partir de um sistema de medição, que apresenta incertezas no resultado apontado.

Uma das características críticas do produto é produzida através do processo de usinagem em torno CNC, sendo fundamental para o fornecimento com qualidade, atender os níveis de desempenho do processo.

Desta maneira com o objetivo de manter e conquistar novos clientes, formula-se a seguinte questão: é possível atender a qualidade do processo de fabricação melhorando somente o sistema de medição?

Para responder a presente questão este trabalho tem como objetivo principal avaliar estudos iniciais do processo com o sistema de medição padrão da empresa e com um sistema de medição proposto pelo acadêmico. Ainda procurando responder a este questionamento, foram formulados os seguintes objetivos específicos:

- descrever o processo de coleta de dados;
- analisar através de *software* específico estudo do sistema de medição através de R&R (repetitividade e reprodutibilidade);
- analisar através de *software* específico estudo de desempenho do processo;
- comparar resultados dos estudos do sistema de medição do método de padrão da empresa e do proposto no trabalho pelo acadêmico, através do método R&R;
- comparar resultados do estudo de desempenho do processo com sistema de medição padrão da empresa e do proposto pelo acadêmico no trabalho.

A realização deste estudo está fundamentada em vários elementos presentes no universo de indústrias do mercado automotivo. Este mercado cada vez mais competitivo, onde as empresas que atenderem a qualidade do processo de fabricação têm como resultado, além da redução de custos e a otimização de processo, que são palavras de ordem para a busca de competitividade, o conhecimento do seu processo, deixando-o previsível.

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. Nos capítulos um e dois serão apresentados o referencial teórico sobre qualidade e ferramentas estatísticas de processo, respectivamente. No capítulo três, a metodologia do trabalho. No capítulo quatro, o estudo de caso, no qual será apresentada a coleta de dados e as análises do sistema de medição e desempenho do processo. No capítulo cinco, a comparação dos resultados entre sistema de medição padrão e do sistema proposto, e as considerações finais.

1 QUALIDADE

Este capítulo tem por objetivo conceituar a qualidade, com base na bibliografia pesquisada, enfocando os conceitos e as ferramentas da qualidade.

1.1 CONCEITO

A qualidade é um tema presente na maioria das organizações, sendo essencial para um planejamento de curto, médio e longo prazo. A qualidade não pode ser desenvolvida por imposição, ela deve ser inserida na cultura das pessoas.

Conforme Shigunov (2004), a qualidade é uma filosofia de gestão empresarial ou, um modelo de gestão administrativa, que visa atingir permanentemente a melhoria de seus produtos ou serviços oferecidos, por meio de mudança dos processos produtivos, da redução de custos, de uma mudança cultural e do envolvimento dos trabalhadores.

Shigunov (2004) também afirma que a qualidade, como a maioria dos conceitos aplicados e formulados na administração, passou por diversas fases de evolução. A qualidade pode ser considerada sob diversos prismas, difíceis de serem definidos. A evolução do TQM (*Total Quality Management*) é descrita com a explicação de alguns de seus conceitos básicos, os quatro níveis da qualidade: adequação ao padrão – avalia se o produto produzido está adequado aos padrões estabelecidos; adequação ao uso - é o meio de garantir a satisfação das necessidades do mercado; adequação ao custo – significa alta qualidade e custo baixo; adequação à necessidade latente – significa a satisfação das necessidades do cliente antes que eles estejam conscientes delas.

Existem outras formas de definir qualidade, Garvin (1992) listou cinco abordagens gerais com estes objetivos:

- Abordagem transcendente: a qualidade é sinônimo de excelência inata. Nestes parâmetros a qualidade não pode ser medida com precisão, apenas é reconhecida pela experiência do indivíduo analista.

- Abordagem baseada no produto: a qualidade é sinônimo de maior número e melhores características que um produto apresenta, trata-se de uma variável precisa e mensurável. Surgiu com base na literatura econômica enfatizando a durabilidade dos produtos, implicando que alta qualidade só pode ser obtida com alto custo.

- Abordagem baseada no usuário: a qualidade é o atendimento às necessidades e preferências do consumidor. A avaliação dos usuários em relação às especificações é o único padrão confiável.

- Abordagem baseada na produção: a qualidade é sinônimo de conformidade com as especificações. As definições de qualidade estão calcadas na idéia de adequação da fabricação às exigências do projeto e que as melhoras da qualidade, equivalentes a reduções no número de desvios, levam a menores custos.

- Abordagem baseada no valor: a qualidade é o desempenho ou conformidade a um preço ou custo aceitável.

Diante destes conceitos, foram desenvolvidas metodologias, que orientam a inserção da qualidade nas empresas. A seguir segue conceitos destas metodologias.

1.2 QUALIDADE TOTAL

Para aplicação dos conceitos da qualidade, necessita-se de metodologias que envolvem todos os processos da empresa. Essas metodologias são os fundamentos para uma organização bem sucedida.

Para Paladini (2000), a qualidade total não é uma expressão nova nem um novo conceito. É antes de tudo, uma decorrência natural da qualidade definida enquanto adequação ao uso. Essa análise torna-se particularmente válida quando se analisam as dimensões da Gestão da Qualidade e suas ações diante desse conceito. De fato, o conceito de adequação ao uso não determina nem identifica quais elementos estabelecem como esse ajuste se processa. A qualidade, assim, passa a ser característica que atende totalmente ao consumidor.

Conforme Shigunov (2004), a qualidade total envolve os grandes objetivos de uma organização: a minimização dos custos por meio de uma organização eficaz e eficiente e a maximização dos recursos produtivos (matéria-prima, recursos humanos, equipamentos e instalações). Não se trata apenas de uma técnica ou

ferramenta, mas de uma estrutura organizacional voltada à qualidade, onde se tem o controle das atividades internas da empresa, buscando sua otimização e visão da concorrência e do mercado onde atua, para promover uma maior eficácia da organização.

De acordo com Shiba (1997), cada empresa pode encontrar seu próprio caminho para implementar a qualidade total, mas deve-se considerar fundamentais em qualquer processo de implementação bem-sucedida quatro conceitos:

1. foco no clientes;
2. melhoria continua;
3. participação dos funcionários;
4. aprendizado social.

Dentro desse conceito macro da qualidade total, destacam-se dois elementos fundamentais, conhecidos pelas organizações e implantados como ferramentas de gestão da qualidade: o TQM (*Total Quality Management*) e o TQC (*Total Quality Control*).

Para Oakland (1994), TQM é uma abordagem para melhorar a competitividade, a eficácia e a flexibilidade de toda organização. É essencialmente uma maneira de planejar, organizar e compreender cada atividade, e depende de cada indivíduo em cada nível.

Shiba (1997) afirma que o TQM é um sistema em evolução que envolve procedimentos, ferramentas e métodos de treinamento para gerenciar organizações, com o intuito de proporcionar ao cliente a satisfação em sociedade de rápidas mudanças. Nesse período o TQM melhora o desempenho da empresa em todas as áreas, de forma a eliminar os defeitos de produtos; aumentando a atratividade do projeto do produto; tornando mais rápida a entrega do serviço; reduzindo o custo, entre outros fatores.

Brocka & Brocka (1994) define TQM como uma filosofia que tem por finalidade melhorar continuamente a produtividade em cada nível de operação e em cada área funcional de uma organização, utilizando todos os recursos financeiros e humanos disponíveis. A melhoria direcionada para satisfazer objetivos amplos, tais como custo, qualidade, visão de mercado, planejamento e crescimento da empresa.

O TQC, Controle da Qualidade Total, conforme Castells (2000), deve ser realizado ao longo do processo produtivo da empresa de modo a promover a melhor utilização possível dos recursos disponíveis e atingir zero defeitos no processo

produtivo. Esses objetivos podem ser atingidos por intermédio de um maior envolvimento e comprometimento dos trabalhadores do processo produtivo, entre as possíveis ações a serem implementadas destacam-se: os trabalhos realizados por equipes, a maior autonomia e descentralização para a tomada de decisão no chão de fábrica onde ocorre a produção, a recompensa pelo desempenho das equipes de trabalhos e a hierarquia administrativa horizontal.

As organizações humanas são meios destinados a se atingir determinados fins. Controlar uma organização humana significa detectar quais foram os fins, efeitos ou resultados alcançados, analisar estes maus resultados buscando suas causas e atuar sobre estas causas de modo a melhorar os resultados. Primeiro devemos reconhecer quais são os fins desejados para uma empresa. Como o objetivo de uma organização humana é satisfazer as necessidades das pessoas, então o objetivo, o fim, o resultado desejado de uma empresa é a Qualidade Total (Campos, 1992, p. 14).

Uma definição clara e objetiva de controle da qualidade é oferecida por Oakland (1994), que afirma que o controle da qualidade então é essencialmente o conjunto de atividades e técnicas empregadas para obter e manter a qualidade de um produto, processo ou serviço. Inclui uma atividade de monitoração, mas também objetiva encontrar e eliminar causas de problemas de qualidade, tal modo que os requisitos do cliente sejam continuamente atendidos.

Diante destas metodologias, foram criadas algumas ferramentas da qualidade. A seguir os conceitos destas ferramentas.

1.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

As ferramentas da qualidade operacionalizam as metodologias, sendo parte do dia-a-dia das empresas.

Conforme Shigunov (2004), ferramentas da qualidade são técnicas e métodos um pouco mais complexos e que necessariamente dependem do envolvimento e compromisso de todos os membros da organização, pois caso contrário não terão o resultado esperado.

Segundo Okes (2002), as ferramentas da qualidade são principalmente utilizadas para o entendimento, análise e melhoria de processos e a utilização da correta ferramenta para a aplicação adequada é crítica, pois elas não somente

ajudam a assegurar os resultados desejados, mas também evitam que decisões erradas sejam tomadas.

Entre as ferramentas da Qualidade pode-se destacar: a norma ISO 9001 (*International Organization for Standardization*), ISO/TS 16949 (*technical specification*), FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha), APQP (Planejamento Avançado da Qualidade do Produto), PPAP (Processo de Aprovação de Peça de Produção), CEP (Controle Estatístico do Processo) e MSA (Análise de Sistema de Medição).

1.3.1 Norma ISO 9001

Uma das ferramentas mais conhecidas é a norma ISO 9001, por ser reconhecida mundialmente pelas empresas.

Conforme Reis e Mañas (1995), as normas ISO 9000 são normas contratuais, isto é, aplicáveis em situações contratuais que exijam demonstração de que a empresa fornecedora é administrada com qualidade. Por outras palavras, pode-se dizer que eles visam dar garantia ao cliente/consumidor de que a empresa fabricante/fornecedora possui um sistema de garantia da qualidade em pleno funcionamento, assegurando assim a qualidade do produto/serviço.

A ISO 9001 é a principal norma da série ISO 9000, pois apresenta requisitos para o sistema de gestão da qualidade. O modelo de sistema de gestão da qualidade com base em oito princípios definidos pela norma é de suma importância para a implementação da qualidade.

Os oito princípios da qualidade, descritos por Carpinetti (2007) são:

Foco no cliente: Organizações dependem de seus clientes e, portanto, é recomendável que atendam às necessidades atuais e futuras do cliente, seus requisitos e procurem exceder as suas expectativas

Liderança: Líderes estabelecem a unidade de propósito e o rumo da organização. Convém que eles criem e mantenham um ambiente interno no qual as pessoas possam estar totalmente envolvidas no propósito de atingir os objetivos da organização.

Envolvimento de pessoas: Pessoas de todos os níveis são a essência de uma organização e seu total envolvimento possibilita que suas habilidades sejam usadas para o benefício da organização.

Abordagem de processo: Um resultado desejado é alcançado mais eficientemente quando as atividades e os recursos relacionados são gerenciados como processo.

Abordagem sistêmica para a gestão: Identificar, entender e gerenciar os processos inter-relacionados como um sistema contribui para a eficácia e eficiência da organização no sentido desta atingir os seus objetivos.

Melhoria contínua: Convém que a melhoria contínua do desempenho global da organização seja seu objetivo permanente.

Abordagem factual para tomada de decisão: Decisões eficazes são baseadas na análise de dados e informações.

Benefícios mútuos nas relações com os fornecedores: Uma organização e seus fornecedores são interdependentes, e uma relação de benefícios mútuos aumenta a capacidade de ambos em agregar valor.

Para Shigunov (2004), em sua essência, a ISO 9001 é uma norma que visa estabelecer critérios para um adequado gerenciamento do negócio tendo como foco principal a satisfação do cliente e consumidor, e não visualizando apenas a obtenção de certificado e padronizações de procedimentos.

Sendo assim, Hutchins (1994), contempla que durante o processo de utilização de normas, a empresa irá desenvolver autodisciplina interna e maior compreensão dos objetivos e dos benefícios da qualidade.

Muitas organizações têm exigido que seus fornecedores tenham certificados ISO 9001 ou um dos padrões derivados, tais como aqueles desenvolvidos pela indústria automobilística americana, ISO TS 16949. Em consequência, há atualmente um esforço substancial em muitas organizações em obterem o certificado do padrão apropriado, afirma Montgomery (2004).

Existem normas específicas para o setor atuante, a seguir será conceituada a norma focada para empresas automotivas.

1.3.2 Norma ISO TS 16949

As empresas automotivas estão disseminando conceitos importantes para a produtividade das empresas, através dos requisitos da norma ISO TS 16949.

A ISO/TS 16949:2009 é uma especificação técnica ISO que alinha as normas dos sistemas de qualidade automotiva existentes - brasileira, americana, alemã,

francesa e italiana - dentro da indústria automotiva global. Ela especifica os requisitos do sistema da qualidade para projeto e desenvolvimento, produção, instalação e assistência técnica de produtos relacionados à indústria automotiva, conforme ABNT (2009).

Conforme Kemper & Ramalho (2009), a ISO/TS 16949 é uma norma que contempla a ISO 9001 com requisitos adicionais voltados para o segmento automotivo. Elaborada pela ISO (*International Organization for Standardization*) e pelo IATF (*International Automotive Task Force*), a ISO/TS 16949 tem como objetivo unificar todo o processo produtivo das indústrias que abrangem.

Conforme a ABNT (2009), a meta desta Especificação Técnica é o desenvolvimento de um sistema de gestão da qualidade que forneça melhoria contínua, enfatize a prevenção de defeitos e a redução da variação e perda na cadeia de suprimentos.

Segundo Okes (2002), as ferramentas da qualidade são usadas para entender, analisar e melhorar processos. Logo, podem assim prevenir defeitos. Nesse sentido, são muitas as ferramentas da qualidade utilizadas em uma empresa que auxiliam a implantação e a manutenção da ISO TS 16949 e, principalmente, permitem um monitoramento eficaz do processo produtivo.

A ISO/TS 16949 requer a aplicação de ferramentas técnicas durante a realização do produto, tais como: FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha), APQP (Planejamento Avançado da Qualidade do Produto), PPAP (Processo de Aprovação de Peça de Produção), CEP (Controle Estatístico do Processo) e MSA (Análise de Sistema de Medição).

FMEA é uma ferramenta que objetiva evitar falhas potenciais, sejam elas em projeto ou processo. Segundo Puente (2001), a ferramenta ou método técnico FMEA tenta identificar quais possíveis falhas podem ocorrer durante as fases de projeto ou produção de um produto e identifica a origem dessas falhas. A ferramenta não somente identifica falhas, como também busca preveni-las por intermédio de ações preventivas.

Vanderbrade (1998) conceitua FMEA como uma ferramenta estruturada, elaborada por um grupo, na qual vários passos precisam ser seguidos para que os efeitos das falhas sejam quantificados, permitindo à empresa a priorização de ações.

Conforme o Manual de Referência APQP Segunda Edição (2008), o APQP - Planejamento Avançado da Qualidade do Produto, é uma estrutura de

procedimentos e técnicas usadas para gerenciar a qualidade no desenvolvimento de produtos. Este processo foi criado como um sistema para desenvolvimento de produtos pela General Motors, Ford, Chrysler e seus fornecedores. De acordo com a AIAG (*According to the Automotive Industry Action Group*), o propósito do APQP é elaborar um plano de qualidade para acompanhar o desenvolvimento do produto ou serviço, que satisfaça o consumidor.

Segundo Manual de Referência do PPAP 4ª Edição (2006), o PPAP é um processo derivado do APQP, desenvolvido no final dos anos 80 por uma comissão de *experts* das três maiores indústrias automobilísticas: Ford, General Motors e Chrysler. Essa comissão investiu cinco anos para analisar o então corrente estado de desenvolvimento e produção automotivo nos Estados Unidos, Europa e especialmente no Japão.

Os requisitos para seus fornecedores são seguir os procedimentos e técnicas do APQP, serem auditados e certificados para a norma ISO TS 16949.

É utilizado na indústria automobilística para estabelecer um padrão entre as empresas, seus fornecedores de peças, componentes e processos de produção.

A indústria relata a especificação de como deseja o produto (características técnicas e layout), para que o fornecedor possa efetuar todo o planejamento: processo de fabricação, testes e colhimento de dados. Desta maneira, pode-se mostrar que o fornecedor possui condições para o fornecimento desse produto, com base em todos os testes e seus resultados.

De acordo com Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), o Controle Estatístico do Processo (CEP), é uma ferramenta da qualidade que estabelece informação permanente sobre o comportamento do processo, utilização da informação para detectar e caracterizar as causas que geram instabilidade no processo, indicação de ações para corrigir e prevenir as causas de instabilidade e informações para melhoria contínua do processo.

Segundo Diniz (2001), o CEP é uma valiosa ferramenta para garantia e exatidão na fabricação e com ele usa-se números e dados para analisar o processo. O processo é controlado para se certificar se está ou não realizando o que se deseja. Caso não esteja, é corrigido para o desejado, evitando-se a produção de peças não conformes, que serão eliminadas posteriormente pelo controle de inspeção. O CEP pode ser feito pelo próprio operador do processo.

Segundo Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), MSA são estudos estatísticos apropriados onde o objetivo é analisar o comportamento do sistema de medição no que diz respeito a resultados. Em outras palavras, analisa a variação presente nos resultados de cada tipo de meio de medição e equipamento de ensaio. O MSA além de ser exigido pelas normas do setor automotivo, é indispensável para empresas que buscam a qualidade total e o controle dos seus processos. É uma ferramenta indispensável em trabalhos de CEP, sendo uma importante etapa do APQP e do PPAP.

A seguir serão apresentados especificamente conceitos sobre as ferramentas estatísticas aplicadas no processo de fabricação, o CEP e o MSA.

2 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS DE PROCESSO

Neste capítulo serão abordadas as ferramentas estatísticas de processo: CEP e MSA.

2.1 CEP – CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

O CEP será apresentado através da sua história, objetivos, conceitos, estatísticas básicas, tipos de dados, gráficos estatísticos, cartas de controle, capacidade e desempenho do processo e estudos iniciais do processo.

2.1.1 História do CEP

Com a evolução dos conceitos da qualidade ao longo dos anos, foi desenvolvido o CEP, uma ferramenta simples, mas eficaz.

Conforme Shigunov (2004), a utilização do controle estatístico do processo teve início em 1924 na *Bell Telephone Laboratories* com Shewhart – considerado o pai do Controle Estatístico do Processo.

Em 1946 foi criada a ASQC (*American Society for Quality Control*), que promoveu a utilização do controle estatístico da qualidade em todos os tipos de operações de bens e serviços.

Em 1950 Deming iniciou diversas conferências sobre métodos estatísticos aos engenheiros japoneses, processo que deu prosseguimento com Juran em 1954. Em 1960 foi formado o primeiro círculo de controle de qualidade por Ishikawa e a partir dos anos 70 e 80 os americanos começaram a utilizar estes princípios, até então somente difundidos no Japão.

Com a disseminação do CEP muitas empresas iniciaram a implementação desta ferramenta, com o objetivo apresentado a seguir.

2.1.2 Objetivo do CEP

Ao implementar o CEP, as organizações buscam melhoria de seus resultados e satisfação dos clientes, que podem gerar reduções de custos e reconhecimento da imagem no mercado.

O objetivo do Controle estatístico do processo para Shigunov (2004), é aprimorar e controlar o processo produtivo por meio de identificação das diferentes fontes de variabilidade do processo. O controle estatístico é implantado por meio de um ciclo em que coleta-se dados do processo, monitora-se sua situação (verificando se o mesmo permanece sob controle estatístico) e posteriormente realizam-se análises e propostas de melhorias para atingir patamares melhores de desempenho.

Para Slack (2002) o controle estatístico de processo preocupa-se com a verificação de um produto ou serviço durante sua criação. Dessa forma, se houver razões para acreditar que existe problema com o processo, ele pode ser interrompido (onde é possível e adequado) e os problemas podem ser identificados e retificados.

Para Diniz (2001), o CEP é a forma mais racional e garantida de se controlar a fabricação em série de peças boas. Deixa-se de inspecionar as peças fabricadas e controla-se o processo.

A seguir serão apresentados os conceitos aplicados no CEP, conceitos importantes para aplicação da ferramenta.

2.1.3 Conceitos

Entender o significado de controle e processo é um dos passos importantes para aplicação da ferramenta. Estes significados definem a abrangência da aplicação das técnicas estatísticas.

Conforme Diniz (2001), processo é a combinação de fornecedores, produtores, pessoas, equipamentos, materiais de entrada, métodos e meio ambiente que trabalham juntos para produzir o resultado (produto), e os clientes correspondem aos elementos que utilizam o resultado, conforme figura 1.

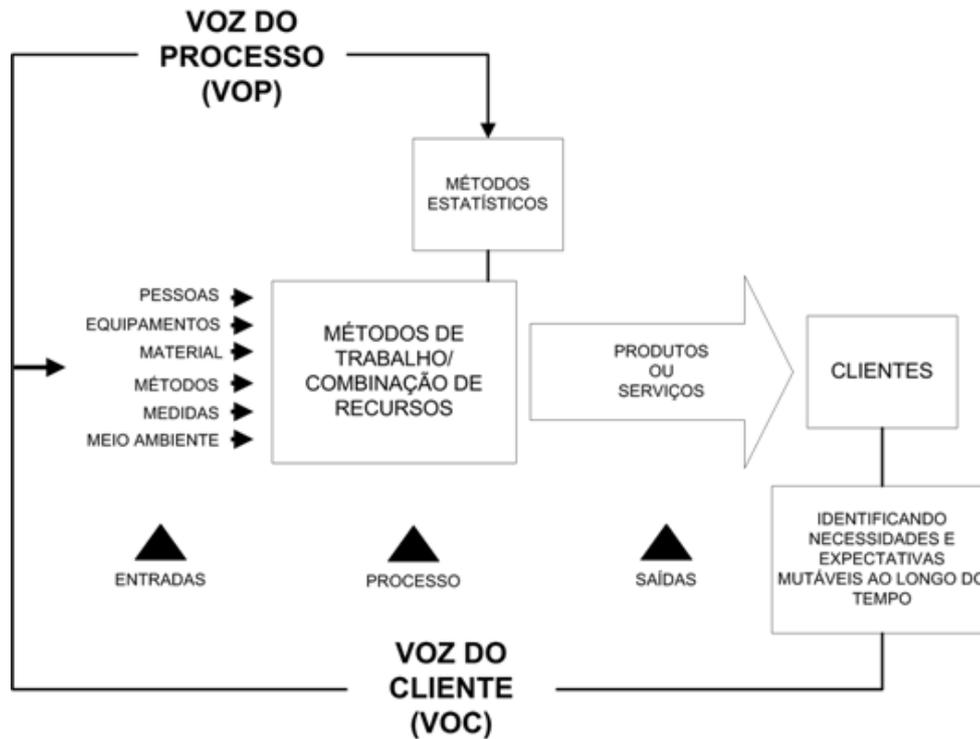


Figura 1: Sistema de Controle de Processo
Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

De acordo com o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), controle do processo é o estado operacional quando a finalidade da medição é o critério de decisão aplicados em tempo real à produção, para avaliar a estabilidade e as características da variação natural do processo. O resultado da medição indicará se o processo está “estável”/”sob controle” ou “fora de controle”.

Controle do produto é o estado operacional quando a finalidade da medição é o critério de decisão aplicado para avaliar o mensurado ou uma característica quanto à conformidade a uma especificação. O resultado da medição será “dentro da tolerância” ou “fora da tolerância”.

Controle estatístico é o valor estatístico usado no desenvolvimento e uso de uma carta de controle. Um valor calculado a partir de dados da amostra, cria referências sobre o processo e a variabilidade.

Vieira (2012) afirma que variabilidade é o conjunto de diferenças nas variáveis (diâmetros, pesos, densidades, etc.) ou atributos (cor, defeitos, etc.) presentes universalmente nos produtos e serviços resultantes de qualquer atividade.

A estatística é o fundamento do CEP, que será apresentada a seguir.

2.1.4 Estatísticas Básicas

O uso das estatísticas básicas no CEP é o recurso para estudar os dados encontrados ao longo do processo, e o entendimento dessas técnicas é base para sua aplicação com sucesso.

De acordo com o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), a estatística é um conjunto de técnicas e métodos de pesquisa que entre outros tópicos envolve o planejamento do experimento a ser realizado, a coleta qualificada dos dados, a inferência, o processamento, a análise e a disseminação das informações.

De acordo com Vieira (2012), na estatística é trabalhado com dados, os quais podem ser obtidos por meio de uma amostra da população em estudo.

Vieira (2012) conceitua população como conjunto de elementos que tem pelo menos uma característica em comum. Esta característica deve delimitar corretamente quais são os elementos da população.

Amostra é um subconjunto de elementos de uma população, que são representativos para estudar a característica de interesse da população. A seleção dos elementos que irão compor a amostra pode ser feita de várias maneiras e irá depender do conhecimento que se tem da população e da quantidade de recursos disponíveis.

Na figura 2 pode-se verificar a ilustração do conceito de população e amostra.

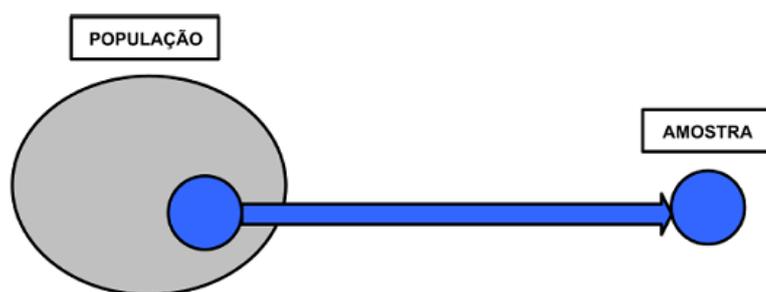


Figura 2: Conceito de População e amostra
Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

Conforme o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), medidas de posição são as estatísticas que representam uma série de dados orientando-nos quanto à posição da distribuição em relação ao eixo horizontal do gráfico da curva

de freqüência. As medidas de posições mais importantes são média aritmética, mediana e moda.

Vieira (2012) afirma que a média é calculada somando-se os valores das observações da amostra e dividindo-se o resultado pelo número de valores.

E para calcular a mediana, Vieira (2012) explica que deve-se em primeiro lugar ordenar os dados do menor para o maior valor. Se o número de observações for ímpar, a mediana será a observação central. Se o número de observações for par, a mediana será a média aritmética das duas observações centrais.

O Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006) descreve dispersão como sinônimo de variação ou variabilidade. Para medir a dispersão são usadas mais frequentemente duas medidas: a amplitude e o desvio padrão.

A amplitude é definida como sendo a diferença entre o maior e o menor valor do conjunto de dados.

O desvio padrão de um conjunto de dados é igual à raiz quadrada da variância amostral. Variância de uma amostra de n elementos é definida como a soma dos quadrados dos desvios de elementos em relação à sua média dividido por $(n-1)$. A fórmula de desvio padrão (s) é representada por:.

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

Estas estatísticas são aplicadas nas coletas de dados. Existem tipos diferentes de dados, apresentados a seguir.

2.1.5 Tipos de Dados

O Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006) conceitua os dois tipos de dados: variáveis e atributos.

Variáveis são dados quantitativos, onde as medições são utilizadas na análise. São geralmente utilizados em cartas de controle \bar{X} e R e \bar{X} e S, mediana, amplitude e valores individuais e amplitude móvel.

Atributos são dados qualitativos que podem ser categorizados para registro e análise. São geralmente coletados na forma de itens não-conformes ou ocorrências de não conformidades.

Para facilitar a interpretação dos dados coletados, são utilizados gráficos estatísticos, apresentados a seguir.

2.1.6 Gráficos Estatísticos

Existem diversos tipos de gráficos estatísticos, como exemplo histograma, de probabilidade e carta de controle.

Histograma é uma das ferramentas estatísticas usadas no CEP, conforme Montgomery (2004), sendo uma representação visual dos dados na qual pode-se ver mais facilmente três propriedades: forma, posição ou tendência central e dispersão.

A figura 3 demonstra um histograma.

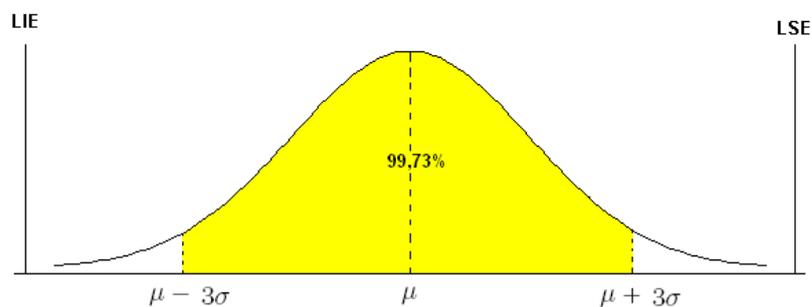


Figura 3: Exemplo de Gráfico de Histograma
Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

Vieira (2012) afirma que as finalidades dos histogramas são mostrar a forma de distribuição e estabelecer se medidas de determinado item têm distribuição normal, verificar se o processo está centrado no valor nominal e estudar a dispersão do processo.

Conforme Diniz (2001), distribuição normal de média e desvio padrão se distribuem em torno da média nas seguintes proporções aproximadas:

- 68% dos valores no intervalo da média mais ou menos um desvio padrão;
- 95% dos valores no intervalo da média mais ou menos dois desvios padrão;
- 99,73% dos valores no intervalo da média mais ou menos três desvios padrão.

No CEP a faixa de variabilidade usada é mais ou menos três desvios padrão, significando que diferenças entre um valor observado e a média, maiores do que os valores citados acima, são esperadas, apenas, três vezes a cada mil observações. Se a variabilidade se torna anormal, os dados das amostras se modificam sensivelmente indicando que o processo está fora de controle.

Para Montgomery (2004), distribuição não-normal é uma distribuição de probabilidades que não seguem a forma normal, ou seja, uma distribuição na qual os momentos maiores do que a ordem dois, não são todos zero.

De acordo com o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), as formas não-normais modelam a distribuição do processo e, em seguida, determinam a proporção de não conformidades, ou seja, a área da distribuição não normal que está fora da especificação.

Conforme Montgomery (2004), para determinar a normalidade, é usado gráfico de probabilidade. Gráficos de Probabilidade constituem um método gráfico para determinar se os dados amostrais estão de acordo com a suposta distribuição. O teste de probabilidade gera o “p-valor” associado a estatística de Anderson-Darling, quando maior do que 0,05, pode-se dizer que os dados seguem distribuição normal. A figura 4 representa um exemplo do gráfico.

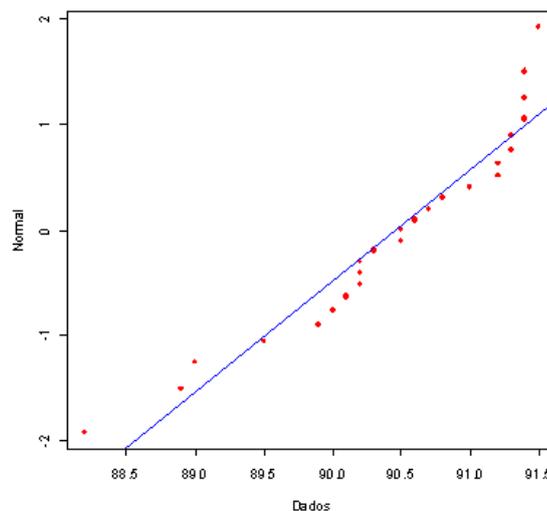


Figura 4: Exemplo de Gráfico de Probabilidade
Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

Para Montgomery (2004), quando os dados não seguem distribuição normal existem diversas alternativas para calcular os índices de capacidade / desempenho do processo. Deve-se aplicar uma transformação nos dados, para que estes tenham distribuição normal. Pode-se calcular os índices através de outra distribuição de probabilidade que se ajuste aos dados, por exemplo através da distribuição de Weibull, exponencial e lognormal;

Segundo o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), a utilização da distribuição Weibull permite calcular apenas a variabilidade a longo prazo e, conseqüentemente os índices de desempenho.

De acordo com o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), carta de controle é um tipo de gráfico utilizado para o acompanhamento de um processo. Este gráfico determina estatisticamente uma faixa denominada limites de controle, que é limitada pela linha superior (limite superior de controle) e uma linha inferior (limite inferior de controle), além de uma linha média. O objetivo é verificar, por meio do gráfico, se o processo está sob controle, isto é, isento de causas especiais.

Causas Comuns são efeitos acumulativos de causas não controláveis, com pouca influência individualmente. Já Diniz (2001) afirma que causa comum é uma fonte de variação que afeta todos os valores individuais do resultado do processo. Esta é a fonte da variação inerente ao processo.

Conforme Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), causas especiais são falhas ocasionais que ocorrem durante o processo, com grande influência individualmente. Já Diniz (2001) afirma que é uma fonte de variação que afeta apenas alguns valores individuais do resultado do processo e quase sempre é intermitente ou imprevisível. Uma causa especial às vezes pode ser chamada de causa atribuível. Ela é sinalizada por um ou mais pontos que estão além dos limites ou por um padrão não-aleatório de pontos que estão dentro dos limites de controle.

Existem vários critérios para identificar as causas especiais. O quadro 1 descreve os critérios.

Resumo dos Critérios de Causas Especiais	
1	1 ponto a mais do que 3 desvios padrão a partir da linha central
2	7 pontos consecutivos no mesmo lado da linha central
3	6 pontos consecutivos, todos aumentando ou diminuindo
4	14 pontos consecutivos, alternando acima e abaixo
5	2 e 3 pontos > 2 desvios padrão a partir da linha central
6	4 a 5 pontos > 1 desvio padrão a partir da linha central
7	15 pontos consecutivos dentro de 1 desvio padrão da linha central
8	8 pontos consecutivos > 1 desvio padrão a partir da linha central

Quadro 1: Resumo dos Critérios de Causas Especiais

Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

Para Montgomery (2004), um processo está sob controle estatístico (estável) quando não existem causas especiais. O fato de um processo estar sob controle estatístico não implica que o mesmo está produzindo dentro de um nível de qualidade aceitável. O nível de qualidade de um processo é através de uma técnica denominada análise de capacidade e desempenho.

Segundo Slack (2002), o objetivo é desenvolver uma estratégia de controle para o processo que nos permite separar eventos relacionados às causas especiais de eventos relacionados à causas comuns (falhas na sistemática do processo). Desta forma, para um processo, gráfico de controle pode indicar a ocorrência de causas especiais de variação.

Na figura 5 verifica-se um processo previsível.

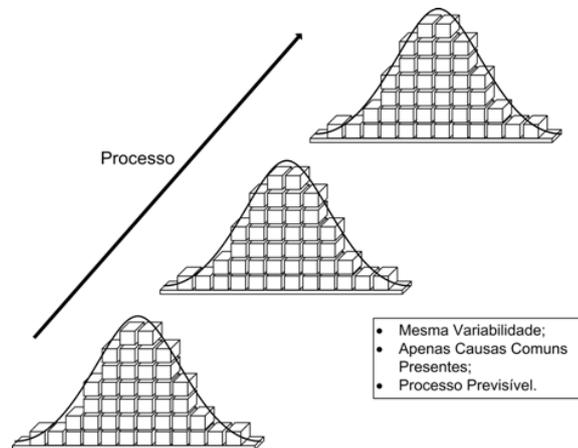


Figura 5: Processo previsível
Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

Na figura 6 o processo não está previsível.

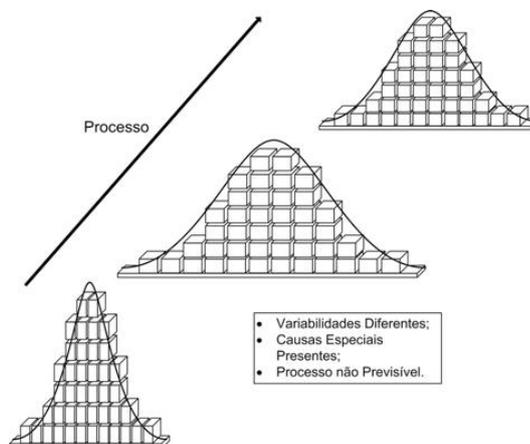


Figura 6: Processo não previsível
Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

Segundo o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), a forma mais usual dos gráficos de controle envolve registros cronológicos regulares (dia-a-dia, hora-a-hora, etc) de uma ou mais características (por exemplo, média, amplitude, proporção, etc) calculadas em amostras obtidas de medições em fases apropriadas do processo. Estes valores são dispostos, pela sua ordem, em um gráfico que possui uma linha central e dois limites, denominados “limites de controle”. Na figura 7 pode-se verificar um exemplo de gráfico de controle.

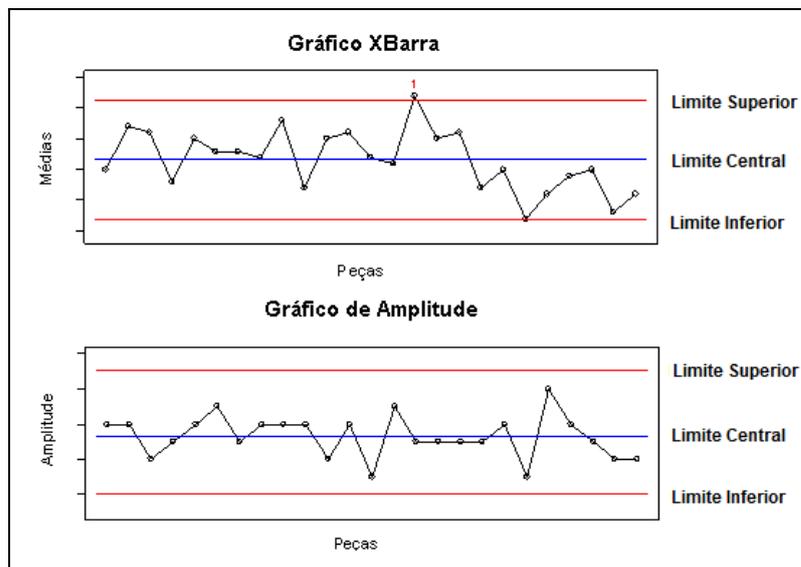


Figura 7: Exemplo de Gráfico de Controle
Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

Conforme Vieira (2012), os limites de controle não são limites de especificação, mas refletem a variabilidade natural do processo, funcionando somente como indicadores de causas especiais de variação. Depois que as causas especiais são eliminadas a capacidade do processo poderá ser avaliada.

Segundo Slack (2002), quando analisado uma característica da qualidade que é uma variável, em geral, controla-se o valor médio da característica e sua variabilidade. O valor médio é controlado através do gráfico da média denominado gráfico Xbar. Enquanto que a variabilidade do processo pode ser acompanhada através do gráfico do desvio padrão denominado gráfico *S* ou gráfico da amplitude denominado gráfico *R*.

Conforme Montgomery (2004), os gráficos Xbar e *R* (média e amplitude) devem ser implementados simultaneamente, pois as funções se complementam.

Seu objetivo é controlar a variabilidade do processo e detectar qualquer mudança que aconteça. Um processo pode sair de controle por alterações no seu nível ou na sua dispersão. As mudanças no nível (média) e dispersão (variabilidade) do processo podem ser consequências de causas especiais, gerando defeitos.

Segundo o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), os limites são calculados do seguinte método:

Para as médias:

$$\text{Limite Superior de Controle: } LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R}$$

$$\text{Linha Central } LC = \bar{\bar{X}}$$

$$\text{Limite Inferior de Controle } LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R}$$

Para as amplitudes:

$$\text{Limite Superior de controle } LSC = D_4 * \bar{R}$$

$$\text{Linha Central } LC = \bar{R}$$

$$\text{Limite Inferior de Controle } LIC = D_3 * \bar{R}$$

Conforme o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), existem as cartas de controle por sub-grupos e as cartas de controles individuais e amplitudes móveis. É recomendado divisão de sub-grupos de no mínimo 5 medidas.

Utilizando os índices acima, serão apresentados a capacidade e o desempenho do processo.

2.1.8 Capacidade e Desempenho do Processo

A qualidade do processo é representada pelos índices de capacidade e desempenho dos processos.

Para Carpinetti (2008), capacidade do processo é determinada pela variação que vem das causas comuns. Ela geralmente representa o melhor desempenho do processo. Isso é demonstrado quando o processo está sendo operado sob controle estatístico independente das especificações.

Conforme o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), capacidade é a amplitude que corresponde a 99,73% (6σ) da variação inerente ao processo (causas comuns) para um processo sob controle estatístico. Para estimar a capacidade do processo é necessário que este seja uma distribuição normal.

Conforme Diniz (2001), os índices de capacidade são representados por Cp e Cpk. Cp compara a capacidade do processo à variação máxima permitida pela tolerância. Esse índice não tem significado para as tolerâncias unilaterais. Cpk leva em conta a centralização do processo e capacidade. Cpk está relacionado à proporção de não-conformidades pelo processo.

Para o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), Cp corresponde à amplitude das especificações dividido pela capacidade do processo. Cpk avalia se o processo está centrado. Este corresponde ao menor valor entre o limite superior de especificação menos a média, e a média menos o limite inferior de especificação, dividido por metade da capacidade do processo (3σ).

Para Carpinetti (2008), desempenho do processo é a amplitude total 6σ da variação total do processo, onde σ é geralmente estimado pelo s, desvio padrão do processo total.

Conforme o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), desempenho do processo é a amplitude que corresponde a 99,73% da variação total do processo. Caso a distribuição normal se ajusta aos dados, a amplitude de 99,73% corresponde a 6σ , no qual σ é estimado pelo desvio padrão amostral.

Conforme Diniz (2001), os índices de desempenhos são representados por Pp e Ppk. Pp compara o desempenho do processo à variação máxima permitida pela tolerância. Ppk leva em conta a centralização do processo e o desempenho.

Para o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), Pp corresponde à amplitude das especificações dividido pela desempenho do processo. Ppk avalia se o processo está centrado.

Conforme Montgomery (2004), quando o processo está sob controle estatístico, a capacidade do processo está muito próxima do desempenho do processo. Uma grande diferença entre a capacidade e o desempenho, indica a presença de uma causa ou de causas especiais.

Para o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), em situações onde somente é possível quantificar, além de causas comuns, as causas especiais de variação, usa-se os índices de desempenho de processo.

A figura 8 representa um distribuição não normal.

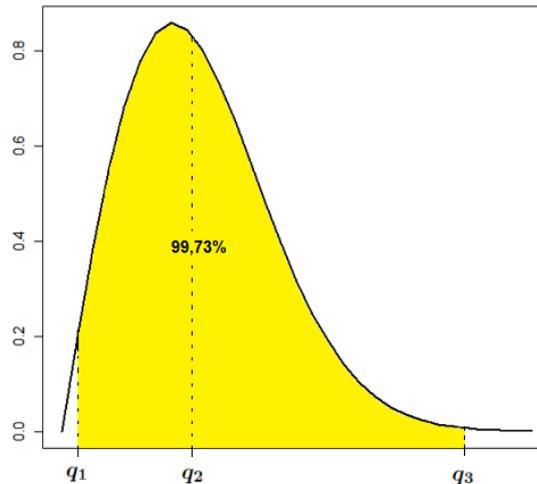


Figura 8: Exemplo de Gráfico de Histograma não normal
Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

Conforme o Manual de Referência CEP Segunda Edição (2006), a equação para calcular os índices Pp e Ppk são similares aos índices Cp e Cpk.

Cálculo do PP
$$P_p = \frac{LSE - LIE}{q_3 - q_1}$$

Cálculo do PPS e PPI (PPL e PPU)
$$PPS = \frac{LSE - q_2}{q_3 - q_2} \quad \text{e} \quad PPI = \frac{q_2 - LIE}{q_2 - q_1}$$

Em que

LSE = Limite Superior de Especificação

LIE = Limite Inferior de Especificação

q1 = Quantil da distribuição específica com 0,135%

q2 = Quantil da distribuição específica com 50%

q3 = Quantil da distribuição específica com 99,865%.

Índices de performance esperados a longo prazo

Cálculo do PPMEsp < LIE

O número esperado de partes por milhão que tem observações menores que o limite inferior de especificação é dado por $PPM_{Esp} < LIE = 1.000.000 * q_{LIE}$

em que $qLIE$ = Percentil da distribuição específica relativo ao limite inferior de especificação (LIE).

Cálculo do $PPMEsp > LSE$

O número esperado de partes por milhão que tem observações maiores que o limite superior de especificação é dado por $PPMEsp > LSE = 1.000.000 * (1 - qLSE)$

em que $qLSE$ = Quantil da distribuição específica relativo ao limite superior de especificação (LSE).

Cálculo do $PPMEspTotal$

$$PPMEspTotal = [PPMEsp < LIE] + [PPMEsp > LSE].$$

Índices de performance observados

Cálculo do $PPMObs < LIE$

A proporção do total de observações menores que o limite inferior de especificação, multiplicada por 1.000.000, é dada por

$$PPMObs < LIE = \left(\frac{Qtde. de Obs. < LIE}{n} \right) * 1.000.000$$

Cálculo do $PPMObs > LSE$

A proporção do total de observações maiores que o limite superior de especificação, multiplicada por 1.000.000, é dada por

$$PPMObs > LSE = \left(\frac{Qtde. de Obs. > LSE}{n} \right) * 1.000.000$$

Cálculo do $PPMObsTotal$

$$PPMObsTotal = [PPMObs < LIE] + [PPMObs > LSE].$$

Estes índices de capacidade e desempenho de processo são exigidos em algumas normas, conforme apresentado a seguir.

2.1.9 Estudos Iniciais do Processo

Muitas empresas utilizam como metas os índices de capacidade e desempenho conforme o Manual de Referência do PPAP.

Conforme o Manual de Referência do PPAP (2005), o nível de capacidade ou desempenho inicial do processo deve ser determinado como aceitável, antes da submissão, para todas as características especiais definidas pelo cliente ou pela organização. A organização deve obter a concordância do cliente quanto ao índice para estimar a capacidade inicial do processo antes da submissão.

A organização deve realizar a análise do sistema de medição para entender como o erro de medição afeta as medições do estudo.

O propósito do estudo inicial do processo é entender a variação do processo, não apenas para alcançar o valor especificado pelo cliente. Quando dados anteriores estiverem disponíveis ou existirem dados iniciais suficientes para elaborar uma carta de controle (pelo menos 100 amostras individuais), Cpk pode ser calculado quando o processo é estável. De outra forma, para processos com causas especiais conhecidas e saídas do processo atendendo as especificações, Ppk deve ser usado.

Conforme o Manual de Referência do PPAP (2005), a organização deve usar o seguinte critério de aceitação para avaliar os resultados de estudo inicial de processo:

Índice $> 1,67$: O processo atualmente atende o critério de aceitação

$1,33 < \text{Índice} < 1,67$: O processo pode ser aceitável.

Índice $< 1,33$: O processo atualmente não atende o critério de aceitação.

Para realizar a análise do sistema de medição a seguir será apresentada a ferramenta MSA.

2.1 MSA – ANÁLISE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO

O MSA será apresentado através de conceitos do sistema de medição, objetivos do MSA, instrumentos de medição e repetitividade e reprodutibilidade.

2.1.1 Sistema de Medição

O sistema de medição é um importante componente do processo de produção, indicando a situação do produto controlado.

Conforme Vieira (2012), para melhorar a qualidade de um produto, é preciso conhecer as causas de variação que interferem no processo de produção porque a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade. Mas a variabilidade das medidas de um produto é explicada não somente pela variação das medidas do próprio produto, mas também pelos erros de medição.

Para o Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), sistema de medição é a coleção de instrumentos ou dispositivos de medição, padrões, operações, métodos, dispositivos de fixação, software, pessoal, ambiente e premissas, utilizadas para quantificar a unidade de medição ou corrigir a avaliação de uma característica. O processo completo para obter medições é ilustrado pela figura 9.



Figura 9: Processo de Sistema de Medição
Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

Para Carpinetti (2008), um sistema de medição ideal seria aquele que produzisse somente resultados corretos (coincidindo com o valor verdadeiro da grandeza medida). Entretanto, como qualquer processo, processo de medição produz resultados com erros ou com certo grau de incerteza.

De acordo Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), o processo de medição pode ser definido como um processo de manufatura que produz números (dados) como resultado. O sistema de medição é o conjunto de instrumentos ou dispositivos usado para quantificar uma unidade de medição.

A qualidade de um sistema de medição é influenciada por diversas fontes de fatores. Estas fontes de fatores são denominadas pelo Manual do MSA, pelo acrônimo SWIPE.

S	Padrão
W	Peça
I	Instrumento
P	Pessoa / Procedimento
E	Ambiente

Conforme Vieira (2012), estes erros de medições podem impactar na tomada de decisão sobre o processo. Uma decisão errada poderá ser tomada quando qualquer peça inspecionada ultrapassar o limite de especificação. Por exemplo, uma peça dentro das especificações poderá ser caracterizada como ruim, e uma peça fora das especificações poderá ser caracterizada boa.

De acordo Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), existem certas propriedades fundamentais que definem um bom sistema de medição:

- Uma adequada discriminação ou sensibilidade. O incremento de medida deve ser pequeno o suficiente para detectar variações no processo ou nos limites de especificação. A regra comum é conhecida como regra do dez, que consiste em definir a discriminação do sistema de medição dividindo a tolerância (ou variação do processo) em 10 partes.
- O sistema de medição deve estar sob controle estatístico. Isto significa que sob condições de repetitividade, as variações do sistema de medição são devidas à causas comuns e não à causas especiais.
- Para controle de produto, a variabilidade do sistema de medição deve ser pequena comparada com limites de especificação. Comparar a variabilidade do sistema de medição com as tolerâncias do produto.

- Para controle do processo, a variabilidade do sistema de medição deve demonstrar uma resolução efetiva e pequena comparada com a variação do processo de manufatura. Comparar a variabilidade do sistema de medição com 6 sigmas da variação do processo e/ou variação total.

Para Carpinetti (2008), existem dois tipos de erros no sistema de medição: erros sistemáticos e erros aleatórios.

Erros sistemáticos são parcelas de erros que tendem a se repetir nas medições. Fatores humanos são as causas mais comuns (exemplos: instrumento não calibrado, leitura em ângulo de um instrumento com escala e ponteiro, procedimento incorreto, etc). Teoricamente os erros sistemáticos podem ser antecipados, medidos ou deduzidos e os resultados podem ser corrigidos após as medições.

Erros aleatórios, como o nome indica, ocorrem ao acaso e não podem ser previstos (exemplos: falhas de contagem, ruídos em um circuito elétrico, etc). Assim, os erros aleatórios não podem ser eliminados e não há medições sem a sua presença. Mas podem ser reduzidos através da repetição das medições, uma vez que, em média, os erros aleatórios tendem a se cancelar.

Existem alguns conceitos importantes para o estudo de MSA:

Exatidão é um conceito genérico de precisão relacionado com fechamento da concordância entre a média de um ou mais pontos dos resultados medidos e um valor de referencia. O processo de medição deve estar sob controle estatístico, de outra maneira, a exatidão do processo nada significará.

Precisão descreve o efeito líquido da discriminação e da repetitividade ao longo do intervalo de operação de um sistema de medição. Em algumas organizações a precisão e a repetitividade são conceitos intercambiáveis. De fato, a precisão é muito frequentemente usada para descrever a variação esperada em repetidas medições feita ao longo de um intervalo de medições (Manual de Referência MSA Quarta Edição, 2010).

A figura 10 exemplifica os conceitos de exatidão e precisão, conforme Montgomery (2004).

No círculo representado pela letra “a” os resultados são exatos porque, em média, estão próximos do valor verdadeiro, mas não são precisos porque há certa dispersão.

No círculo representado pela letra “d” os resultados são precisos porque estão próximos entre si, mas não são exatos porque estão distantes do valor verdadeiro.

No círculo representado pela letra “b” a situação ideal (precisos e exatos) e, em “c”, a pior situação, isto é, nem precisos nem exatos.

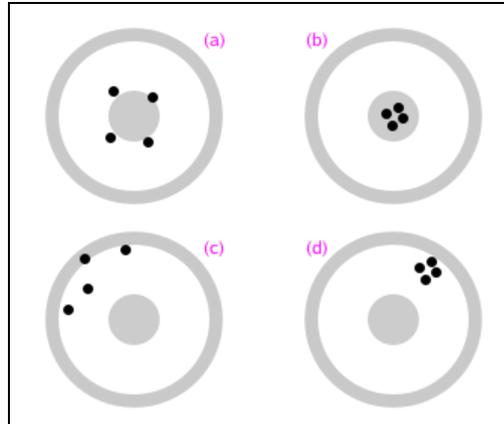


Figura 10: Conceito de Exatidão e Precisão
Fonte: Manual de Referência CEP 2ª Edição (2006)

Para avaliar a qualidade do sistema de medição, a seguir serão apresentados os objetivos da ferramenta MSA.

2.1.2 Objetivos MSA

O MSA é uma ferramenta que influencia diretamente no resultado do processo, apresentando confiabilidade nos valores encontrados.

De acordo Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), o objetivo do MSA é maximizar as decisões corretas a respeito do produto, a partir de duas opções.

Melhorar o processo de produção: reduzir a variabilidade do processo de modo que nenhuma peça possa ser produzida próxima ao limite de controle.

Melhorar o sistema de medição: reduzir o erro de medição para diminuir a quantidade de peças próximas ao limite de controle, de modo que todas fiquem no limite central de especificação, assim minimizem o risco de tomar decisão errada.

Um dos fatores importantes no estudo do MSA é o instrumento de medição, apresentado a seguir.

2.1.3 Instrumentos de Medição

O uso de um instrumento de medição incorreto, pode impactar na qualidade do processo avaliado, tanto no seu uso quanto a sua escolha.

Para Carpinetti (2008), o erro de um instrumento de medição pode ser conhecido através de procedimentos de calibração, que consistem basicamente em comparar o valor médio indicado pelo instrumento com o valor verdadeiro convencional para aquela grandeza, obtido através de um padrão referencial. Esse padrão é a medida materializada, um instrumento ou um sistema de medição adotado como padrão, que é destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma medida ou valor de uma grandeza para servir de referência.

Conforme Montgomery (2004), incerteza de medição é geralmente definida por um parâmetro, relacionado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão de valores que pode ser atribuída a esse resultado.

De acordo Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), discriminação do instrumento de medição é conhecida também como a menor unidade de leitura, a discriminação é a resolução da medida, limite de escala, ou a menor unidade detectável por um dispositivo de medição e seu padrão. É uma propriedade inerente ao projeto do dispositivo de medição e é relatada por meio de uma unidade de medição ou classificação. O número de categoria de dados é frequentemente descrito como sendo proporção de discriminação, pois ela descreve quantas classificações podem ser diferenciadas de maneira confiável para uma dada variação de processo observada.

Conforme Montgomery (2004), a discriminação é a quantidade de mudança de um valor de referência que um instrumento pode detectar e indicar de maneira confiável. A discriminação é também como legibilidade ou resolução.

Conforme Vieira (2012), a regra prática geral é que a discriminação do instrumento de medição deve ser pelo menos um décimo (1/10) da amplitude a ser medida. Tradicionalmente, essa amplitude era dotada como sendo a especificação do produto. Recentemente a regra 10 para 1 é interpretada com o significado de que o equipamento de medição é capaz de discriminar pelo menos um décimo da variação do processo.

De acordo Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), se o sistema de medição não tem discriminação, ele pode não ser um sistema apropriado para

identificar a variação do processo ou para quantificar os valores individuais da característica da peça. Se este for o caso, técnicas de medição melhores deverão ser utilizadas.

Conforme Carpinetti (2008), distintas categorias de dados é o número de classificações ou categorias de dados que podem ser diferenciadas de maneira confiável. Esse número é determinado pela resolução efetiva do sistema de medição e pela variação das peças provenientes do processo observado numa dada aplicação. Este índice é conhecido como “NDC”.

O Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010) recomenda que o índice “NDC” seja 5 ou mais categorias de dados.

Uma das formas de avaliar o erro do sistema de medição através do MSA, é o R&R (repetitividade e reprodutibilidade), apresentado a seguir.

2.1.4 R&R - Repetitividade e Reprodutibilidade

O estudo de R&R é uma dos métodos para avaliar a qualidade do sistema de medição, apresentando o quanto o sistema de medição contribui para o resultado das medidas encontradas.

De acordo Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), repetitividade é conhecida como a variabilidade do avaliador. A repetitividade é variação nas medidas obtidas com um instrumento de medição, quando usadas por varias vezes por um avaliador, enquanto medindo uma característica idêntica de uma mesma peça. Ela é a variação inerente ou a capacidade do próprio equipamento.

Conforme Carpinetti (2008), a repetitividade é comumente denominada como sendo a variação do equipamento, embora isto seja uma idéia errada. De fato, a repetitividade é uma variação de causa comum decorrente de sucessivas repetições feitas sob condições definidas de medições. O melhor termo para designar a repetitividade é a variação dentro do sistema, quando condições de medição são fixas e definidas.

Conforme Vieira (2012), causas possíveis de baixa repetitividade são: variação da peça, variação do instrumento, variação do padrão, variação do método, variação do avaliador, variação do ambiente, violação de alguma premissa, instrumento não adequado para aplicação.

De acordo Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), reprodutibilidade é conhecida como a variabilidade entre avaliadores. A reprodutibilidade é 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.

Conforme Vieira (2012), potenciais fontes de erro de reprodutibilidade são: variação entre peças, variação entre instrumentos, variação entre padrões, variação entre métodos, variação entre avaliadores, variação entre ambientes, eficácia do treinamento do operador.

De acordo Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), a repetitividade e reprodutibilidade, ou R&R do dispositivo de Medição é uma estimativa da variação combinada da repetitividade e da reprodutibilidade. Dito de outra forma, o R&R é a variância igual a soma das variâncias dentro do sistema e entre sistemas.

Conforme Carpinetti (2008), é a soma das variações devido à falta de Repetitividade e Reprodutibilidade.

A seguir será apresentada a metodologia de aplicação de um estudo de R&R em dados variáveis.

2.1.4.1 Aplicação do R&R

Para um estudo de sistema de medição é importante seguir certos procedimentos, para não haver ocorrências que influenciarão o resultado.

Segundo o Manual de Referência do MSA (2010), como em qualquer estudo ou análise, planejamento e estudos devem ser feitos antes da realização do estudo do sistema de medição. A preparação típica antes da realização da realização de um estudo é a seguinte:

- A abordagem a ser usada deve ser planejada;
- A quantidade de avaliadores, a quantidade de peças da amostra, e o número de leituras repetidas devem ser previamente determinadas, considerando os fatores de criticidade da dimensão e configuração da peça.
- Uma vez que o propósito é avaliar o sistema de medição total, os avaliadores escolhidos devem ser selecionados dentre daqueles que normalmente operam o instrumento.

- A seleção da amostra das peças é crítica para uma análise adequada e depende inteiramente do projeto do estudo de MSA, do propósito do sistema de medição, e disponibilidade de peças que representam o processo de produção.

Conforme Vieira (2012), devem ser selecionados aleatoriamente operadores que utilizam e conhecem bem o sistema de medição a ser estudado. Em geral são recomendados três operadores.

Devem ser utilizados equipamentos de medição devidamente calibrados, selecionados de 5 a 15 peças da produção cujas dimensões, variam o campo de amplitude do processo.

Para sistemas de medição no qual o resultado é utilizado para determinar a "conformidade" ou "não conformidade" do produto, em relação a uma característica, as amostras selecionadas não precisam abranger toda a especificação. Além disso, a análise do R&R deve ser realizada em relação à tolerância.

Segundo o Manual de Referência do MSA (2010), para o caso em que o sistema de medição controla o processo, isto é, o resultado da medição é utilizado para determinar a estabilidade, tendência e variabilidade do processo, através de um estudo de CEP, deve-se utilizar a variação do processo para avaliar o R&R. Neste caso, deve escolher bem as peças, pois estas devem abranger toda a faixa de variação do processo.

Cada operador mede três ou mais vezes cada peça em ordem aleatória.

Após a coleta de dados deve-se:

- Calcular a média (\bar{X}) e desvio padrão;
- Calcular a Repetitividade $VE = \bar{R}xK_1$;
- Calcular a Reprodutibilidade $VO^2 = (\bar{X}_{DIFF}xK_2)^2 - (EV^2 / (nr))$
- Calcular o RR $R \& R^2 = VE^2 + VO^2$
- Calcular a variação entre peças $VP = R_p \cdot xK_3 =$
- Calcular a variação total $VT^2 = R \& R^2 + VP^2$

O próximo passo será calcular o percentual da variação total, conforme quadro 2.

Fonte de variação	Desvio Padrão	% Variação Total
Repetitividade	VE	$\frac{VE}{VT} * 100$
Reprodutibilidade	VO	$\frac{VO}{VT} * 100$
Peça	VP	$\frac{VP}{VT} * 100$
R&R	R&R	$\frac{R\&R}{VT} * 100$

Quadro 2: Quadro de fórmulas de cálculo de R&R
Fonte: Manual de Referência MSA Quarta Edição

O Manual de Referência do MSA sugere a seguinte regra para análise do sistema de medição:

- %RR menor que 10% → sistema de medição aceitável.
- %RR entre 10% e 30% → sistema de medição marginal, podendo ser aceito dependendo da situação, custos, etc.
- %RR maior que 30% → sistema de medição inaceitável, sendo necessário melhorá-lo ou substituí-lo.

Segundo o Manual de Referência do MSA (2010), o uso das ferramentas gráficas é muito importante.

O gráfico componentes da variação, representado pela figura 11, compara graficamente a contribuição da variação do produto com o total do R&R.

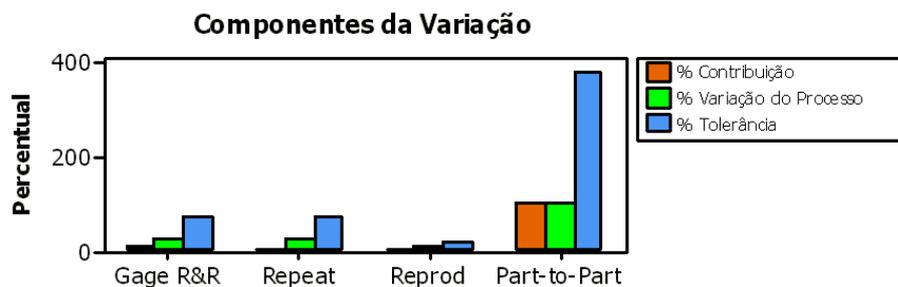


Figura 11: Exemplo Componentes da Variação
Fonte: arquivo da empresa 2012

O gráfico medida por peça, ilustrado pela figura 12, compara a média de todas as medições para cada peça. Mostra a diferença entre as peças.

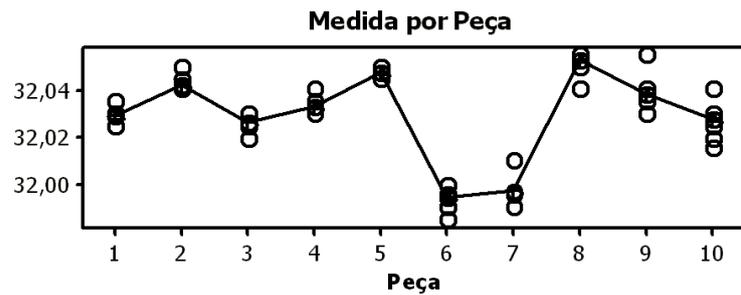


Figura 12: Exemplo Medida por Peça
Fonte: arquivo da empresa 2012

O gráfico carta de amplitude por operador, representado pela figura 13, compara as amplitudes das medições entre os operadores. Causa especial neste gráfico deve ser investigada, antes da análise do R&R.

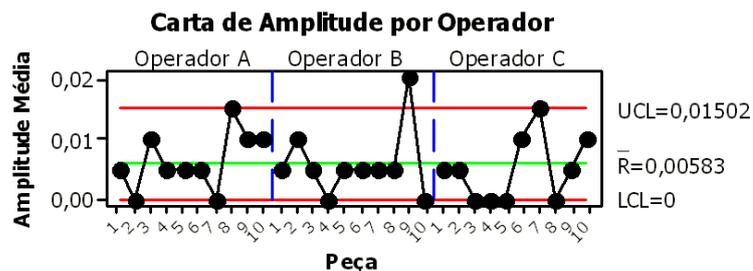


Figura 13: Exemplo Carta de Amplitude por Operador
Fonte: arquivo da empresa 2012

O gráfico medida por operador, ilustrado pela figura 14, compara média de todas as medições para cada operador. Visualiza a diferença entre as peças.

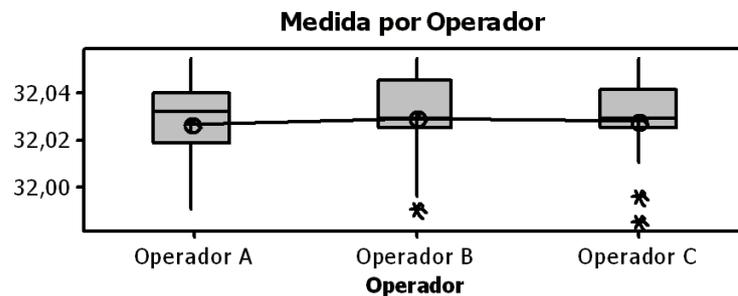


Figura 14: Exemplo Medida por Operador
Fonte: arquivo da empresa 2012

O gráfico carta XBar, representado pela figura 15, os limites de controle representam a variação do sistema de medição. Se a maioria dos pontos (média) estão fora dos limites de controle, indica que a principal fonte de variação é devido a

diferenças entre os produtos. Se a maioria dos pontos está dentro dos limites de controle, indica que a principal fonte de variação é devido ao sistema de medição.

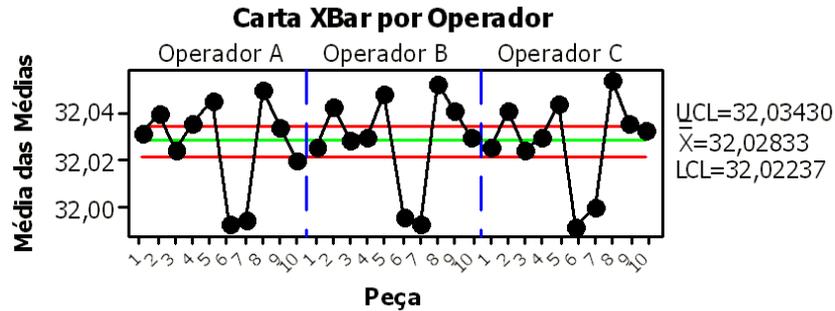


Figura 15: Exemplo Carta XBar por Operador
Fonte: arquivo da empresa 2012

O gráfico interação de peças x operador, representado pela figura 16, compara média das medidas de cada peça por operador. O não paralelismo entre retas, indica existência de interação.

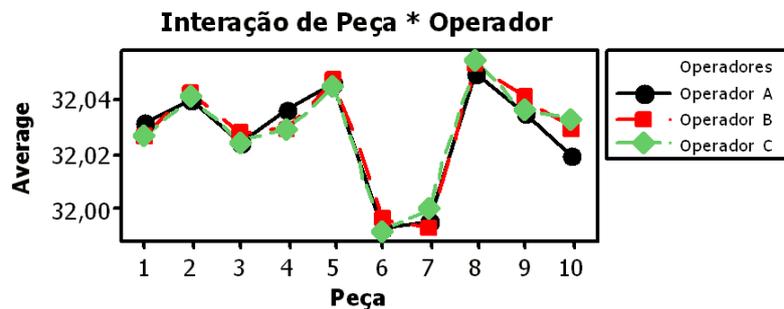


Figura 16: Exemplo Interação de Peça x Operador
Fonte: arquivo da empresa 2012

No próximo capítulo será apresentado a metodologia de pesquisa utilizada no trabalho.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentada a metodologia, que é o caminho ordenado que demonstra os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho. É uma ferramenta essencial para realização de uma pesquisa. Assim, segue a metodologia utilizada na pesquisa, a pesquisa quantitativa e bibliográfica, o estudo de caso e as técnicas de coleta e análise de dados.

Metodologia é entendida como uma disciplina que consiste em estudar e avaliar os vários métodos disponíveis, identificando as limitações de suas utilizações. A Metodologia, em um nível aplicado, examina e avalia as técnicas de pesquisa, bem como a geração ou verificação de novos métodos que conduzem à captação e ao processamento de informações com vistas à resolução de problemas de investigação (PRODANOV: FREITAS, 2009, p. 20).

Em relação à metodologia, o tipo de pesquisa realizado quanto aos objetivos foi a pesquisa quantitativa. Justifica Prodanov e Freitas (2009) que através da pesquisa quantitativa “devemos formular hipóteses e classificar a relação entre as variáveis para garantir a precisão dos resultados, evitando contradições no processo de análise e interpretação”.

Richardson (1999) afirma que a abordagem quantitativa caracteriza-se pelo emprego de quantificação tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas, desde as mais simples como percentual, média, desvio-padrão, às mais complexas, como coeficiente de correlação, análise regressão, etc.

Também se realizou pesquisa bibliográfica, buscando em obras literárias o embasamento teórico para melhor entendimento sobre o tema ferramentas estatísticas da qualidade.

Para Prodanov e Freitas (2009), a pesquisa bibliográfica tem como objetivo ser o passo inicial para saber em qual situação se encontra o problema, trabalhos já realizados e opiniões sobre o assunto.

Conforme Gil (2002), pesquisa bibliográfica é baseada em matérias já elaboradas, tais como livros e artigos científicos. São provenientes de fontes já publicadas, tais como jornais, revistas, livros, monografias, etc. A vantagem da pesquisa bibliográfica é voltada ao investigador, que é permitida a ele a cobertura de

uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que se poderia pesquisar diretamente.

O estudo de caso é caracterizado pelo fato de tentar abranger as maiores características do tema e seu processo de desenvolvimento.

O estudo de caso é a estratégia escolhida ao se examinarem acontecimentos contemporâneos, mas quando não se podem manipular comportamentos relevantes. O estudo de caso conta com muitas das técnicas utilizadas pelas pesquisas históricas, mas acrescenta duas fontes e evidências que usualmente não são incluídas no repertório: observação direta e série sistemática das entrevistas. Embora os estudos de caso e as pesquisas históricas possam se sobrepor, o poder diferenciador do estudo é a sua capacidade de lidar com uma ampla variedade de evidências – documentos, artefatos, entrevistas e observações – além do que pode estar disponível no estudo histórico convencional. (YIN, 2001, p.27).

A coleta de dados é a etapa onde se obtém os dados e informa ao leitor visando responder ao problema da pesquisa.

Segundo Marconi e Lakatos (1999) é a etapa da pesquisa em que se inicia a aplicação dos instrumentos elaborados e das técnicas selecionadas, a fim de se efetuar a coleta dos dados previstos.

Prodanov e Freitas (2009, p. 108) chamam de coleta de dados:

A fase do método de pesquisa, cujo objetivo é obter informações da realidade. Nessa etapa, definimos onde e como será realizada a pesquisa. Será definido o tipo de pesquisa, a população (universo da pesquisa), a amostragem, os instrumentos de coleta de dados e a forma como pretendemos tabular e analisar seus dados.

A coleta de dados foi realizada no período entre junho e julho de 2012, obtido através de medição e observação dos participantes do processo de fabricação na empresa BP Bode Proar, pelo fato de o acadêmico atuar na empresa e especificamente na gestão da qualidade.

Utilizando-se da abordagem quantitativa e com base nos dados coletados, serão descritos os métodos utilizados para a análise dos dados.

Neste âmbito, Prodanov e Freitas (2009) enfatizam que a análise deve ser feita a fim de atender aos objetivos da pesquisa e para comparar e confrontar dados e provas com o objetivo de confirmar ou rejeitar a(s) hipótese(s) ou os pressupostos da pesquisa.

Assim, essa etapa representa o momento em que o pesquisador obtém os dados coletados por meio da aplicação de técnicas de pesquisa, usando instrumentos específicos para o tipo de informação que deseja obter, de acordo com o objetivo de pesquisa em análise. Esses dados, após seu registro, são organizados e classificados de forma sistemática, passando pelas fases de seleção, codificação e tabulação, para o caso de pesquisa quantitativas [...] (PRODANOV; FREITAS, 2009, p. 125).

No próximo capítulo, será apresentado o estudo de caso.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 HISTÓRICO DA EMPRESA

A história da BP Bode Proar Ltda teve início em 1984, quando um grupo de colegas de trabalho resolveu fundar uma empresa no ramo de aquecimento industrial. Essa empresa iniciou suas atividades representando e revendendo resistências elétricas para o mercado calçadista, instalou-se em Novo Hamburgo - RS com a razão social SHC Resistências Elétricas e Representações.

Naquele momento o atual Diretor Geral da BP Bode Proar Ltda, foi convidado a trabalhar na SHC como vendedor. Essa sociedade durou apenas poucos meses, então os sócios resolveram dissolver a sociedade. Um dos antigos sócios da SHC convidou o único funcionário, Cesar Ramos, à dar continuidade ao trabalho, porém, em outro segmento, a fabricação de cilindros pneumáticos. Em 1985 a Proar Equipamentos Pneumáticos Ltda. sucedeu a antiga empresa e deu início às suas atividades.

Até 1990 a Proar concentrava esforços orientados para a fabricação de equipamentos para automação de máquinas e equipamentos; ou seja, a linha industrial. Com a crise brasileira da época, a Proar, na busca de seu crescimento, optou em entrar no mercado de componentes para ônibus e caminhões, desenvolvendo produtos adequados a estes segmentos e passando a contar com uma completa linha de equipamentos para a linha automotiva.

Em 1994 a Proar iniciou os contatos com empresas estrangeiras abrindo espaço para troca de tecnologia e trazendo para o mercado brasileiro soluções e produtos importantes, utilizados no mundo todo. Esta filosofia tornou-se uma constante e cada vez mais propicia resultados para a empresa. Em 1999 a empresa foi certificada pela NBR ISO 9001:1994.

Em 1995, a Proar, atuando nos segmentos de automação industrial e de sistemas pneumáticos para carrocerias de ônibus, buscava especializar-se cada vez mais e diferenciar-se nestes mercados. Em 1997, entendeu-se que seria muito positiva a união de esforços a fim de aproveitar o grande potencial do mercado brasileiro e latino americano. Apesar de estar realizando bons negócios através da importação de sistemas e componentes, ficou evidente que o grande passo a ser

dado seria a formação de uma joint-venture entre PROAR E S.A. MASATS. Durante a Expobus/98, em São Paulo, foi apresentado ao mercado o resultado da união da líder europeia e da líder brasileira na fabricação de sistemas para movimentação, controle e segurança em veículos de transporte de passageiros, a BP-Bode Proar Ltda, conforme foto aérea da figura 17.

No final do ano de 2002 a S.A. Masats retirou-se da sociedade em virtude da venda de seu controle acionário na Espanha. A partir deste momento iniciou-se o processo de unificação das marcas BMP e PROAR, bem como os produtos e processos.

A marca passou a ser Bmproar e o mix de produtos dirigidos a indústria de carroceria de ônibus, trens e vans.

As ferramentas, gestão da qualidade e a inovação tecnológica são fortes aliadas na administração da empresa em todos os processos-chave, permitindo um crescimento sustentado e uma visão adequada do pensamento de perpetuação



Figura 17: Foto aérea da empresa
Fonte: arquivo da empresa 2012

Como a estratégia competitiva da empresa é a diferenciação de produtos de alto valor agregado, os produtos foram inovados, aumentando a tecnologia, conforto e segurança aos usuários. Os principais produtos atualmente são desenvolvidos a partir de componentes e sistemas pneumáticos e eletroeletrônicos para movimentação, controle e segurança para transporte de passageiros, representada pela figura 18.



Figura 18: Equipamentos fabricados

Fonte: arquivo da empresa 2012

Os principais processos de produção são a usinagem e a montagem. A usinagem é estruturada com oito tornos CNCs e quatro centros de usinagem, da marca Mazak e Okuma, representada pela figura 19. A montagem é estruturada com seis células classificadas de acordo com o produto montado.

Com está estrutura, são usinadas em média de 180.000 componentes e montados 30.000 produtos por mês, de mix totalmente variados.



Figura 19: Equipamentos CNCs

Fonte: arquivo da empresa 2012

4.2 PROBLEMA

O produto Atuador Linear Elétrico, figura 20, para Porta de Ônibus Urbano possui algumas características definidas como críticas. Essas características críticas foram definidas no FMEA do produto.

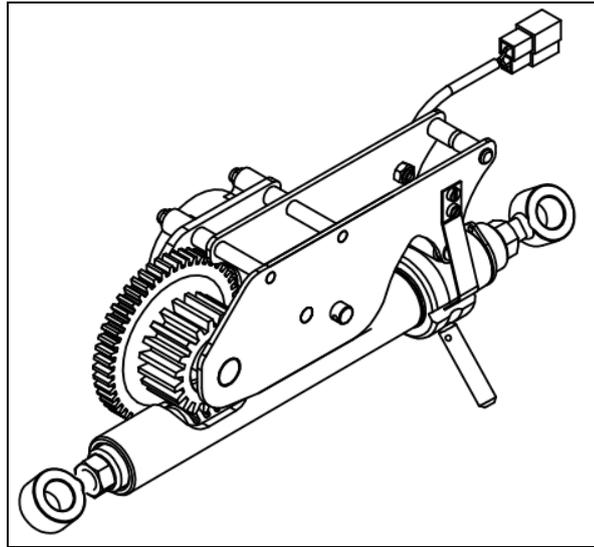


Figura 20: Atuador linear elétrico
Fonte: arquivo da empresa 2012

Uma das características críticas do produto é o diâmetro de alojamento do rolamento da engrenagem, figura 21. A característica deste diâmetro é 32mm com tolerância superior de 0,01mm e tolerância inferior de 0,02mm. Os limites de especificação são 31,980mm à 32,010mm.

Neste diâmetro, um rolamento é montado com uma prensa manual e existindo variação no seu dimensional, pode ocasionar travamento ou não fixação do rolamento na engrenagem.

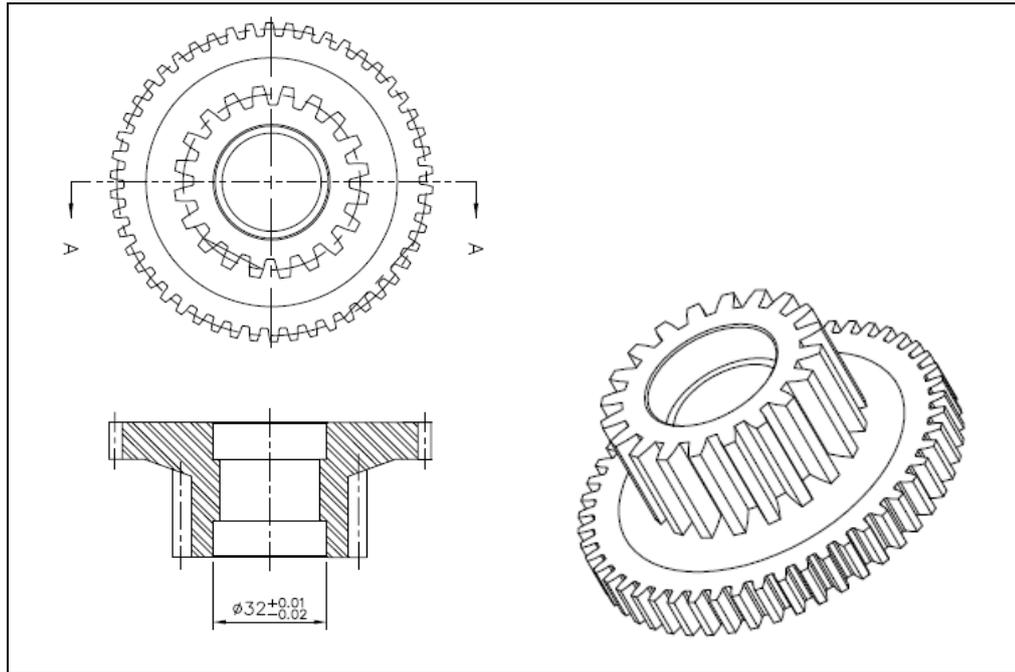


Figura 21: Engrenagem
Fonte: arquivo da empresa 2012

O requisito específico de processo do cliente para característica crítica é possuir valores de índices de desempenho e capacidade do processo, pp e ppk, acima de 1,33. A operação desta característica é realizada em torno CNC Mazak 100MII com ferramenta acionada, conforme figura 22.



Figura 22: CNC Mazak 100MII
Fonte: arquivo da empresa 2012

Para validação do processo de produção do produto, conforme PPAP, a empresa além de atender os requisitos funcionais e desempenho do produto, deve atender os índices desempenho e capacidade de processo de fabricação.

Será aplicado um estudo dos índices de iniciais de processo e do sistema de medição com objetivo de atender os requisitos exigidos. Este estudo será realizado com dois sistemas de medição diferentes; o sistema de medição padrão e o sistema de medição proposto.

Para realizar o estudo de desempenho e capacidade do processo de usinagem do diâmetro de 32 mm da engrenagem foram coletadas 85 peças em ordem sequencial de produção, sendo numeradas de 01 a 85. Foram disponibilizadas pela organização este número de peças devido ao custo de matéria-prima e processo de fabricação.

As amostras para análise do sistema de medição foram separadas do estoque e área de produto não conforme da empresa, buscando ter uma variação de medidas. Foram selecionadas 10 peças para realizar estudo e identificadas de forma discreta para os avaliadores não se basearem na identificação no momento da medição.

4.3 COLETA DE DADOS SISTEMA DE MEDIÇÃO PADRÃO

4.3.1 MSA – Análise de Sistema de Medição

Para realizar o estudo de R&R, foram definidos quais avaliadores operam a máquina Torno CNC Mazak 100MII. Estes foram definidos como operadores A, B e C. O instrumento atual para controle da característica de diâmetro de 32 mm $+0,01 / -0,02$ é o micrômetro interno de 3 pontas de faixa de medição de 30 a 40 mm, figura 23. A resolução do instrumento é de 0,005mm. O código de identificação do instrumento é MI-US-0287, calibrado dia 04/04/2012.

Conforme o certificado de calibração número 7992/2012, o instrumento apresenta um erro máximo de indicação de 0,003mm e uma incerteza de medição de $\pm 0,002$ mm. O erro total pode ser de 0,005 mm. A discriminação do instrumento para esta característica do produto é 6, sendo considerada reprovada.



Figura 23: Micrometro interno 3 pontos
Fonte: arquivo da empresa 2012

O estudo aconteceu na bancada ao lado da máquina, local real do monitoramento do dia-a-dia. As medições foram realizadas no dia 14 de junho de 2012. As peças foram distribuídas de forma aleatórias ao operador, que realizava a medição e registrava em cartão junto à peça. Esta operação se repetiu três vezes.

Após os avaliadores realizarem três vezes cada medição, foram registrados os resultados em uma planilha, conforme tabela 1.

Tabela 1: Registro da coleta de dados do R&R sistema de medição atual

Operador	Peça	Medida 01	Medida 02	Medida 03
Operador A	1	32,030	32,035	32,030
Operador A	2	32,040	32,040	32,040
Operador A	3	32,025	32,020	32,030
Operador A	4	32,040	32,035	32,035
Operador A	5	32,045	32,045	32,050
Operador A	6	31,995	31,990	31,995
Operador A	7	31,995	31,995	31,995
Operador A	8	32,055	32,040	32,055
Operador A	9	32,035	32,040	32,030
Operador A	10	32,020	32,015	32,025
Operador B	1	32,025	32,030	32,025
Operador B	2	32,040	32,050	32,040
Operador B	3	32,030	32,030	32,025
Operador B	4	32,030	32,030	32,030
Operador B	5	32,045	32,050	32,050
Operador B	6	32,000	31,995	31,995
Operador B	7	31,990	31,995	31,995
Operador B	8	32,050	32,055	32,055
Operador B	9	32,055	32,035	32,035
Operador B	10	32,030	32,030	32,030
Operador C	1	32,025	32,030	32,025
Operador C	2	32,040	32,040	32,045
Operador C	3	32,025	32,025	32,025
Operador C	4	32,030	32,030	32,030
Operador C	5	32,045	32,045	32,045
Operador C	6	31,995	31,985	31,995
Operador C	7	31,995	31,995	32,010
Operador C	8	32,055	32,055	32,055
Operador C	9	32,035	32,035	32,040
Operador C	10	32,030	32,040	32,030

Os resultados da planilha foram analisados em um software específico, gerando os resultados estatísticos do sistema de medição.

O estudo foi realizado considerando a variação das especificações de projeto, pelo motivo de ser desconhecida a variação das especificações de processo.

Na tabela 2, é verificado que a linha "Total R&R" o percentual de contribuição do sistema de medição sobre a tolerância da peça é de 70,42%, sendo que o critério de aceitação é de no máximo 30%. O índice de repetitividade apresentou contribuição de 68,91% e o de reprodutibilidade apresentou resultado de 14,50%. O índice NDC apresenta resultado de 7, dentro do critério de aceitação que é mínimo 5.

Tabela 2: Cálculo de R&R sistema de medição atual

Estudo de R&R Longo - Método XBar/R

Tolerância do Processo = 0,03mm

Fonte	Desvio Padrão (SD)	Var Estudo (6 * SD)	% Var Estudo (%SV)	%Tolerância (SV/Toler)
Total R&R	0,0035210	0,021126	18,68	70,42
Repetitividade	0,0034456	0,020673	18,28	68,91
Reprodutibilidade	0,0007250	0,004350	3,85	14,50
Peça à Peça	0,0185185	0,111111	98,24	370,37
Variação Total	0,0188503	0,113102	100,00	377,01

Número de Categorias Distintas = 7

No gráfico 1, é visualizado os componentes da variação do sistema de medição. Este gráfico representa os índices do R&R citados acima. Pode-se observar o alto índice de percentual de contribuição da repetitividade na tolerância da peça.

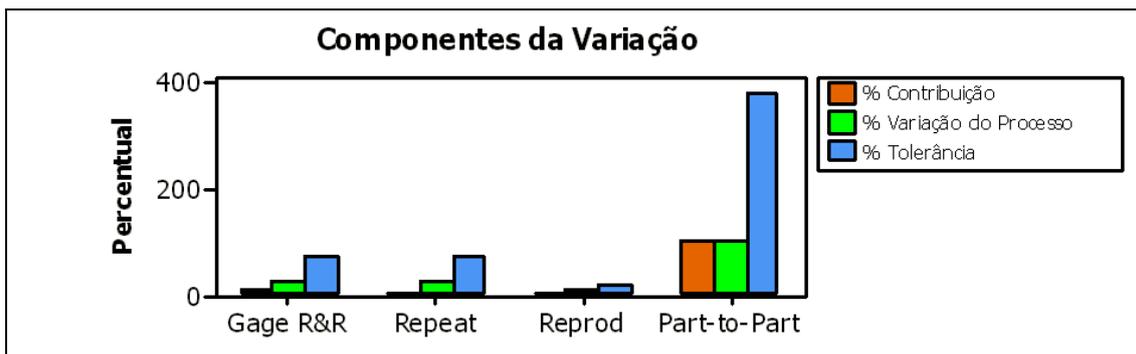


Gráfico 1: Componentes de Variação do sistema de medição atual

Fonte: Elaborado pelo Autor

No gráfico 2, é visualizado a diferença de medida por peça. Pode-se observar maior variação das medições nas peças 7, 8, 9 e 10.

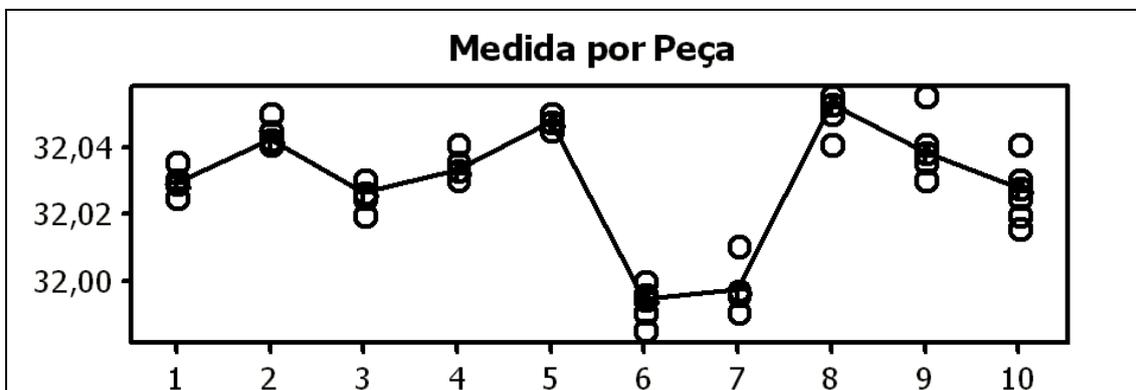


Gráfico 2: Medida por Peça do sistema de medição atual

Fonte: Elaborado pelo Autor

No gráfico 3, é verificada a amplitude por operador. Pode-se verificar a amplitude média de 0,00583mm. Verifica-se causa especial na medição 9 do operador B. Esta causa especial é provavelmente o erro de perpendicularismo do instrumento no furo medido e interpolação, arredondando a medida encontrada para resolução superior.

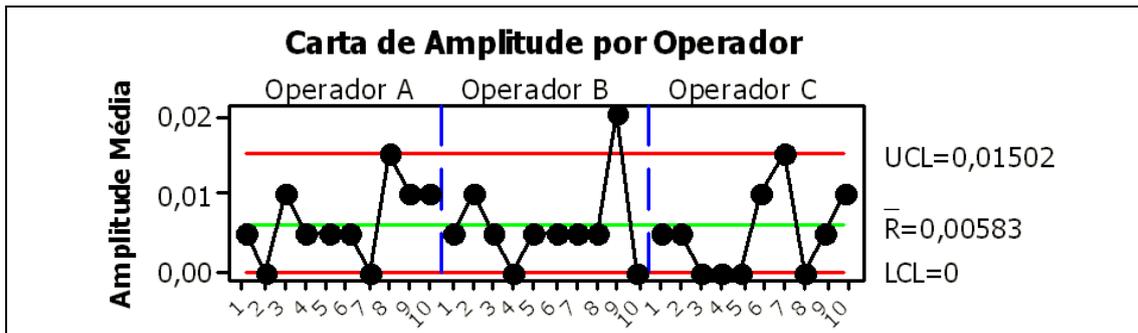


Gráfico 3: Carta de Amplitude por Operador do sistema de medição atual
Fonte: Elaborado pelo Autor

No gráfico 4, gráfico medido por operador, observa-se diferença entre os operadores. Pode-se observar que o operador B apresenta medidas superiores ao A e ao C. Provavelmente devido à causa especial comentada acima.

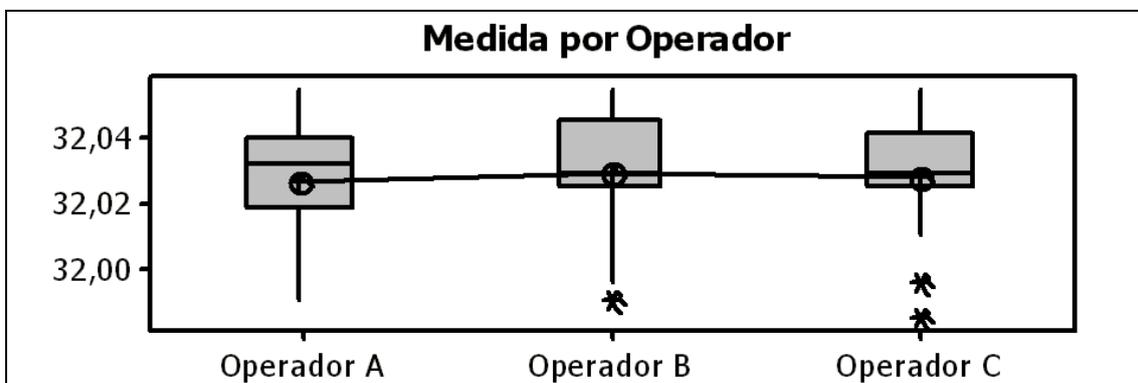


Gráfico 4: Medida por Operador do sistema de medição atual
Fonte: Elaborado pelo Autor

No gráfico carta XBar por operador, gráfico 5, observa-se que a principal fonte de variação é devido ao sistema de medição, porém apresentando também variação no processo.

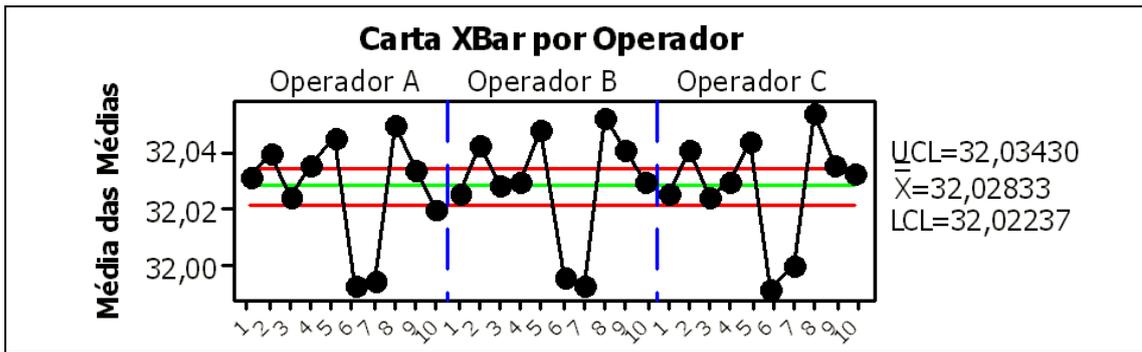


Gráfico 5: Carta Xbar por Operador do sistema de medição atual
 Fonte: Elaborado pelo Autor

No gráfico interação de peça x operador, gráfico 6, indica que divergência em algumas medidas avaliadas, apresentando variação das peças por operador, indicando interação entre avaliadores.

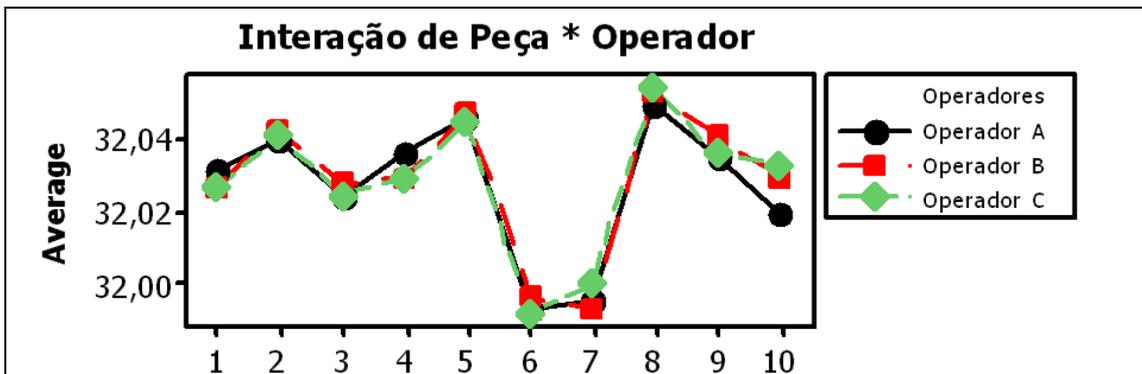


Gráfico 6: Interação de Peça x Operador do sistema de medição atual
 Fonte: Elaborado pelo Autor

4.3.2 CEP – Controle Estatístico de Processo

Para realizar a coleta de dados do estudo de desempenho e capacidade de processo, foi definido que operador A, que realizou o estudo de análise de sistema de medição, seria o responsável pela medição das peças.

As medições foram registradas em planilha de acordo com sua identificação, conforme tabela 3.

Tabela 3: Registro da coleta de dados do CEP do sistema de medição atual

Peça	Medida								
1	31,995	18	31,990	35	31,995	52	32,005	69	31,995
2	31,990	19	31,995	36	31,995	53	32,000	70	32,000
3	31,990	20	31,990	37	31,990	54	31,995	71	32,000
4	32,000	21	31,995	38	31,995	55	31,995	72	32,010
5	32,005	22	31,995	39	31,995	56	31,995	73	32,000
6	31,990	23	31,990	40	31,995	57	31,995	74	32,000
7	31,990	24	31,995	41	32,000	58	32,000	75	31,995
8	31,990	25	31,985	42	32,000	59	31,995	76	31,995
9	32,000	26	31,995	43	31,990	60	31,995	77	31,990
10	31,990	27	31,990	44	31,990	61	32,000	78	31,995
11	31,990	28	32,005	45	31,995	62	31,995	79	31,990
12	31,995	29	31,995	46	31,990	63	32,000	80	31,995
13	31,990	30	32,000	47	31,995	64	31,995	81	31,995
14	31,995	31	31,995	48	31,995	65	31,990	82	32,000
15	31,985	32	32,000	49	32,000	66	31,995	83	32,000
16	31,995	33	32,010	50	32,000	67	31,995	84	31,990
17	32,005	34	32,000	51	32,005	68	32,000	85	32,000

Os resultados da planilha foram analisados em um software específico, gerando os resultados estatísticos do processo.

O primeiro resultado gerado foi o teste de normalidade. No gráfico 7, pode-se observar que o resultado do valor-p ficou menor que 0,05, se caracterizando uma distribuição não normal.

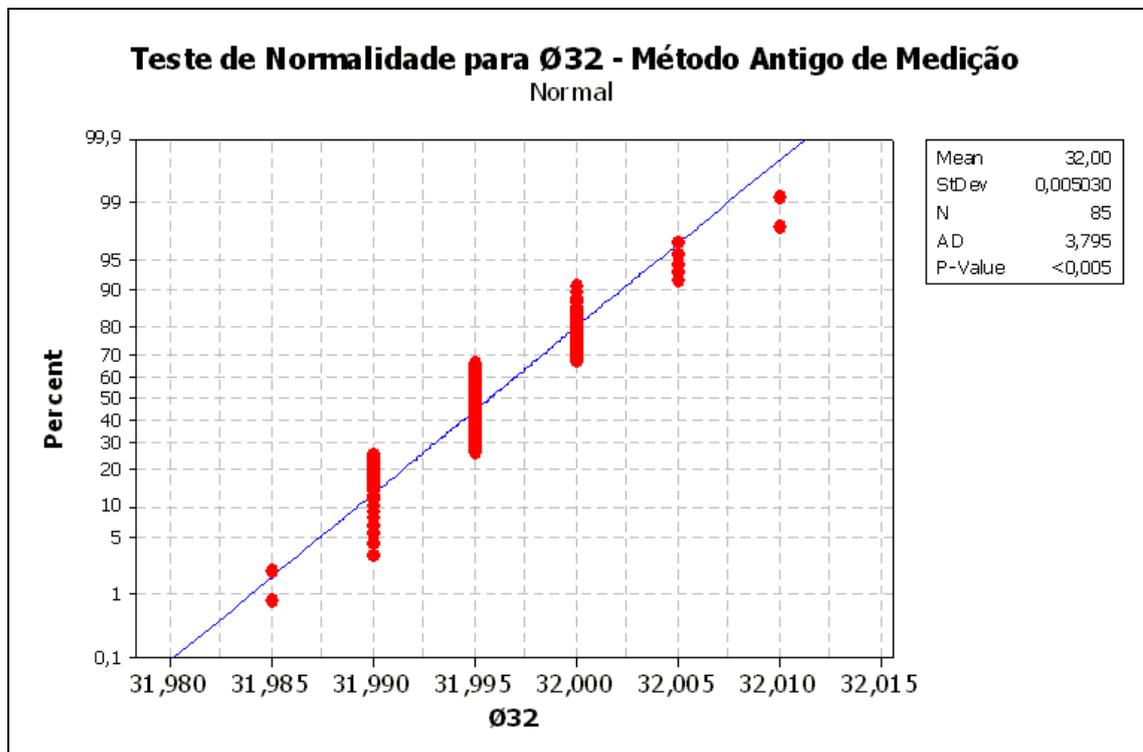


Gráfico 7: Teste de Normalidade com sistema de medição atual
Fonte: Elaborado pelo Autor

Em seguida foi gerado o gráfico de carta XBar-R, com sub-grupos de 5 resultados. No gráfico 8 foi analisado a média das médias, onde o limite de controle superior apresentou um resultado de 32,00203 e o inferior 31,9895mm, ficando os limites de controle dentro dos limites de especificação. A linha central apresentou um resultado de 31,99576mm.

Na análise das médias das amplitudes, o limite superior de controle teve resultado de 0,02295mm e a linha central de 0,01085mm.

Foram analisadas as oito características de causas especiais:

- 1 - 1 ponto a mais do que 3 desvios padrão a partir da linha central;
- 2 - 7 pontos consecutivos no mesmo lado da linha central;
- 3 - 6 pontos consecutivos, todos aumentando ou diminuindo;
- 4 - 14 pontos consecutivos, alternando acima e abaixo;
- 5 - 2 e 3 pontos > 2 desvios padrão a partir da linha central;
- 6 - 4 a 5 pontos > 1 desvio padrão a partir da linha central;
- 7 - 15 pontos consecutivos dentro de 1 desvio padrão da linha central; e
- 8 - 8 pontos consecutivos > 1 desvio padrão a partir da linha central.

Pode-se verificar no gráfico que o processo não apresentou causas especiais, considerando o processo estável, tanto nas médias dos resultados quanto nas médias das amplitudes.

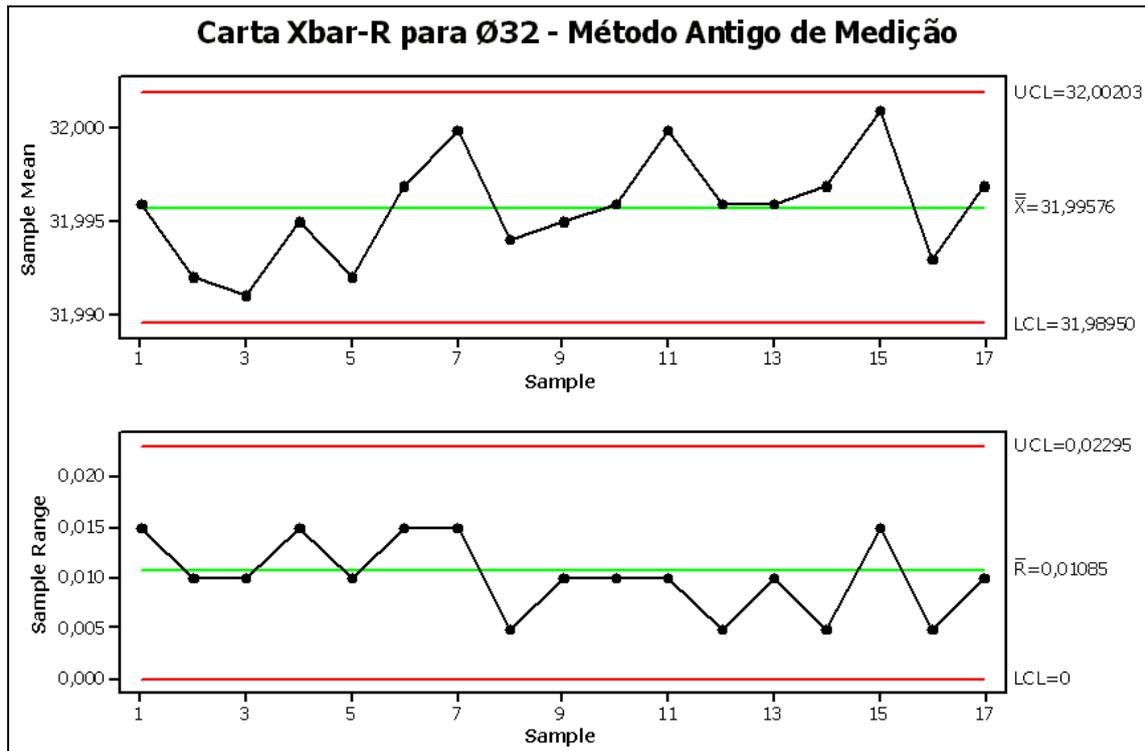


Gráfico 8: Carta Xbar-R com sistema de medição atual
 Fonte: Elaborado pelo Autor

Na próxima etapa, foi analisada a carta de controle de individual e amplitude móvel, gráfico 9. Nos valores individuais, os limites de controles superiores e inferiores também permanecem dentro dos limites de especificação. A linha central apresentou o mesmo resultado do gráfico XBar-R.

No gráfico da amplitude móvel, o limite superior de controle apresentou resultado de 0,01614mm e a linha central 0,00494mm.

Foram analisados os mesmo oito critérios de causas especiais. No gráfico de valor individual observa-se que pontos apresentam causas especiais, com resultado acima de três desvios padrão, pontos com sete pontos consecutivos no mesmo lado da linha central, medidas com dois pontos maiores que dois desvios padrão a partir da linha central e pontos com quatro pontos maiores que um desvio padrão a partir da linha central. Significando que o processo apresenta resultado instável.

Na análise da amplitude móvel verifica-se que alguns pontos apresentam causas especiais no critério de sete pontos consecutivos no mesmo lado da linha central.

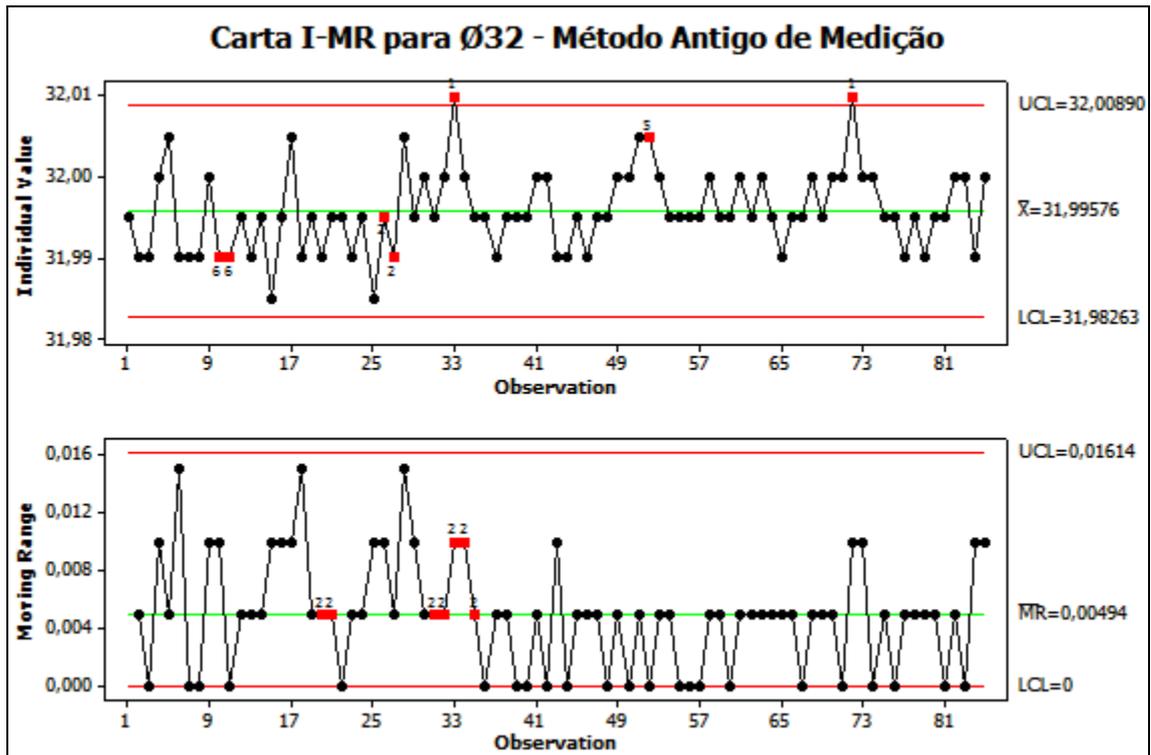


Gráfico 9: Carta I-MR com sistema de medição atual

Fonte: Elaborado pelo Autor

Devido o processo apresentar característica de distribuição não normal e apresentar causas especiais, não é possível realizar a análise de capacidade do processo através dos índices de cp e cpk . Outro motivo para não aplicação dos índices de cp e cpk é quantidade de peças analisadas menores que 125 peças.

Neste caso, foi analisado o índice de desempenho de processo, através dos índices de pp e ppk , gráfico 10. Foi utilizado o método de Weibull para cálculo deste índice.

O índice de pp apresentou resultado de 0,64 e o índice de ppk 0,48. A performance da coleta medida não apresentou índice peças rejeitadas, porém a performance da distribuição Weibull apresentou uma probabilidade de defeitos ao longo do lote de 35.091,99 PPM ou 3,50%.

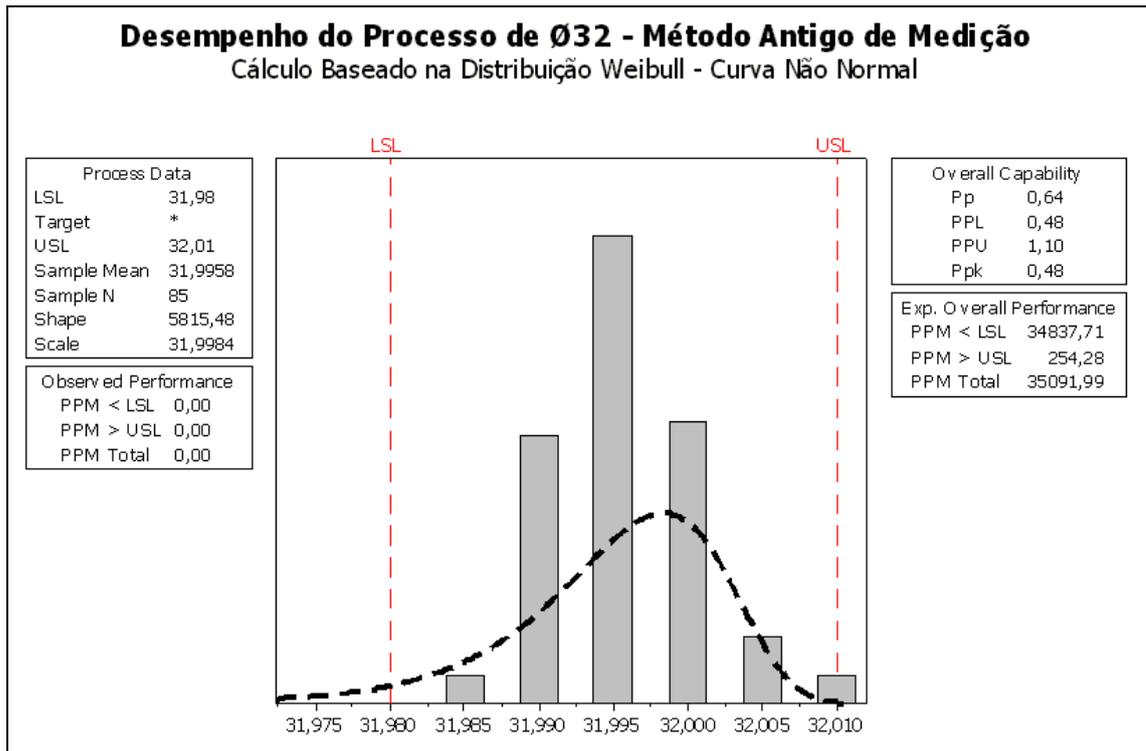


Gráfico 10: Desempenho do Processo com sistema de medição atual
Fonte: Elaborado pelo Autor

4.4 COLETA DE DADOS SISTEMA DE MEDIÇÃO PROPOSTO

4.4.1 MSA – Análise de Sistema de Medição

Para realizar o estudo de R&R, o instrumento do sistema de medição proposto para controle da característica de diâmetro de 32 mm +0,01 / -0,02 é o comparador de diâmetro interno de faixa de medição de 18 a 35 mm, figura 24. A resolução do instrumento é de 0,001mm. O código de identificação do instrumento é BMP-248, calibrado dia 08/12/2011. A discriminação do instrumento para esta característica do produto é 30, sendo considerada aprovada.



Figura 24: Comparador de diâmetro interno
Fonte: arquivo da empresa 2012

Conforme o certificado de calibração número 30903/2011, o instrumento apresenta um erro máximo de indicação de 0,0009mm e uma incerteza de medição de $\pm 0,0005$ mm. Podendo totalizar erro máximo de 0,0014mm.

Foram utilizados as mesmas peças e os mesmos avaliadores que realizaram o estudo de sistema de medição com micrômetro. Os avaliadores foram treinados referente a forma adequada de uso, cuidados, leitura e resolução do instrumento.

O estudo aconteceu na bancada ao lado da máquina, local real do monitoramento do dia-a-dia. As medições foram realizadas no dia 09 de julho de 2012. As peças foram distribuídas de forma aleatórias ao operador, que realizava a medição e registrava em cartão junto à peça. Esta operação se repetiu três vezes.

Após os avaliadores realizarem três vezes cada medição, foram registrados os resultados em uma planilha, conforme tabela 4.

Tabela 4: Registro da coleta de dados do R&R sistema de medição proposto

Operador	Peça	Medida 01	Medida 02	Medida 03
Operador A	1	32,027	32,027	32,028
Operador A	2	32,040	32,039	32,037
Operador A	3	32,025	32,023	32,024
Operador A	4	32,033	32,034	32,033
Operador A	5	32,045	32,045	32,045
Operador A	6	31,995	31,995	31,995
Operador A	7	31,995	31,995	31,995
Operador A	8	32,055	32,054	32,055
Operador A	9	32,034	32,035	32,035
Operador A	10	32,024	32,025	32,025
Operador B	1	32,026	32,026	32,025
Operador B	2	32,041	32,041	32,038
Operador B	3	32,027	32,026	32,025
Operador B	4	32,032	32,033	32,035
Operador B	5	32,045	32,045	32,045
Operador B	6	31,996	31,995	31,995
Operador B	7	31,992	31,995	31,995
Operador B	8	32,051	32,055	32,055
Operador B	9	32,037	32,038	32,037
Operador B	10	32,028	32,028	32,027
Operador C	1	32,024	32,026	32,026
Operador C	2	32,041	32,041	32,043
Operador C	3	32,026	32,027	32,027
Operador C	4	32,031	32,033	32,033
Operador C	5	32,043	32,046	32,047
Operador C	6	31,996	31,996	31,997
Operador C	7	31,992	31,995	31,995
Operador C	8	32,056	32,055	32,055
Operador C	9	32,036	32,036	32,037
Operador C	10	32,029	32,028	32,029

Os resultados da planilha foram analisados em um software específico, gerando os resultados estatísticos do sistema de medição.

Na tabela 5, é verificado que a linha “Total R&R” o percentual de contribuição do sistema de medição sobre a tolerância da peça é de 20,82%, caracterizando-se um sistema de medição aceitável, dentro do critério de aceitação. O índice de repetitividade apresentou contribuição de 18,51% e o de reprodutibilidade apresentou resultado de 9,54%. O índice NDC apresenta resultado de 25, também dentro do critério de aceitação.

Tabela 5: Cálculo de R&R sistema de medição proposto

Estudo de R&R Longo - Método XBar/R				
Tolerância do Processo = 0,03mm				
Fonte	Desvio Padrão (SD)	Var Estudo (6 * SD)	% Var Estudo (%SV)	% Tolerância (SV/Toler)
Total R&R	0,0010411	0,006247	5,49	20,82%
Repetitividade	0,0009254	0,005552	4,88	18,51
Reprodutibilidade	0,0004771	0,002862	2,52	9,54
Peça à Peça	0,0189378	0,113627	99,85	378,76
Variação Total	0,0189664	0,113798	100,00	379,33
Número de Categorias Distintas = 25				

O gráfico componentes da variação, gráfico 11, indica baixo índice de contribuição do sistema de medição na variação da tolerância da peça.

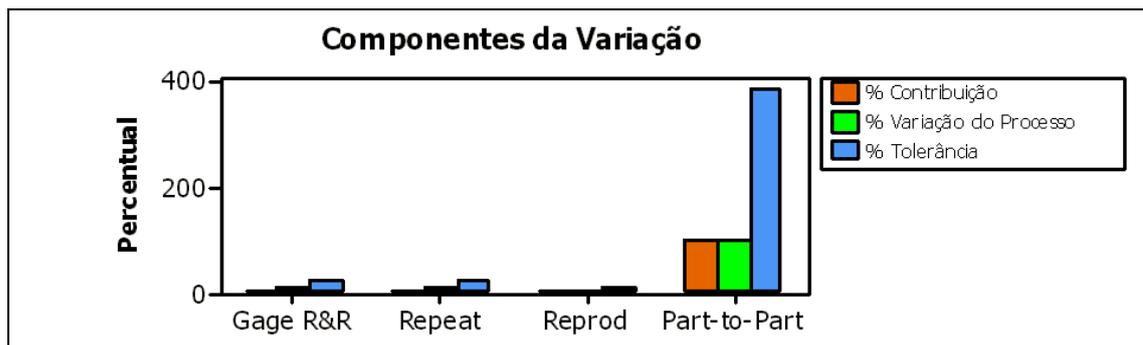


Gráfico 11: Componentes de Variação do sistema de medição proposto
Fonte: Elaborado pelo Autor

No gráfico medida por peça, gráfico 12, verifica-se baixa diferença entre as peças, evidenciando pouca variação nas medidas.

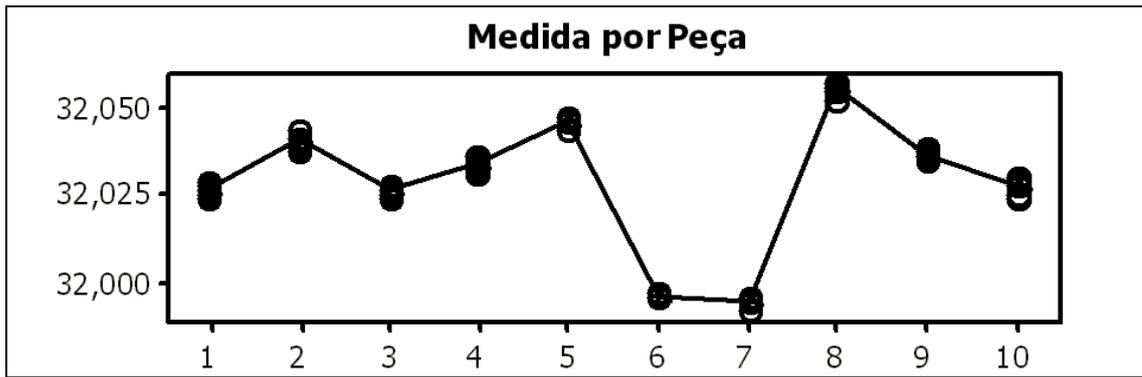


Gráfico 12: Medida por peça do sistema de medição proposto

Fonte: Elaborado pelo Autor

No gráfico carta de amplitude por operador, gráfico 13, pode-se observar que não existe causas especiais nas medições.

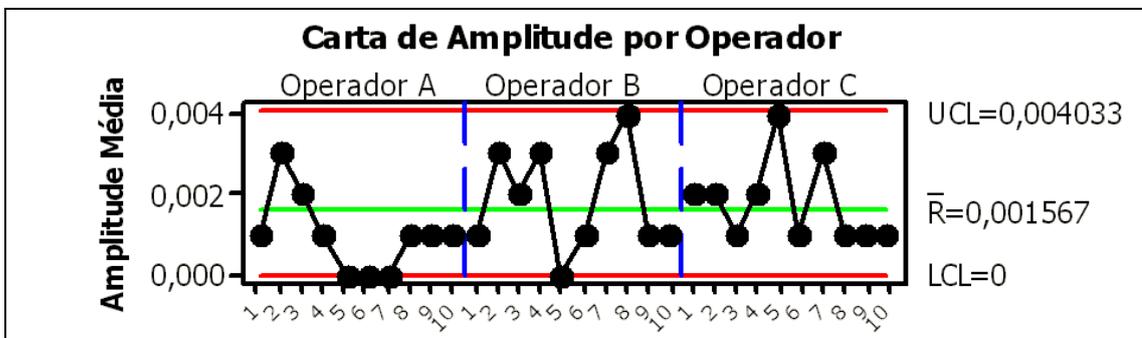


Gráfico 13: Carta de Amplitude por Operador do sistema de medição proposto

Fonte: Elaborado pelo Autor

No gráfico medida por operador, gráfico 14, verifica-se a reta paralela ao eixo X, indicando que o sistema de medição apresenta boa reprodutibilidade.

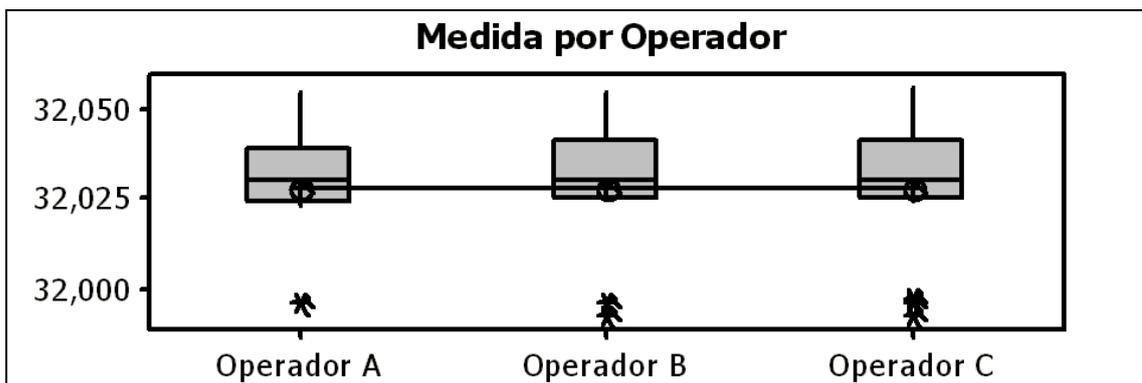


Gráfico 14: Medida por Operador do sistema de medição proposto

Fonte: Elaborado pelo Autor

No gráfico carta XBar por operador, gráfico 15, verifica-se que ao apresentar mais pontos fora dos limites de controle, a principal fonte de variação está no processo e não no sistema de medição.

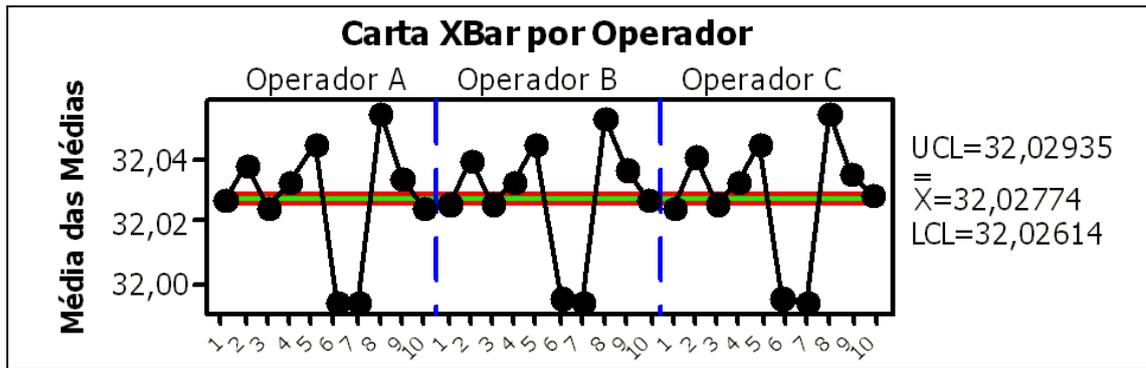


Gráfico 15: Carta Xbar por Operador do sistema de medição proposto
 Fonte: Elaborado pelo Autor

No gráfico de interação de peça x operador, gráfico 16, pode-se verificar paralelismo entre as retas indicando que não existe interação entre avaliadores.

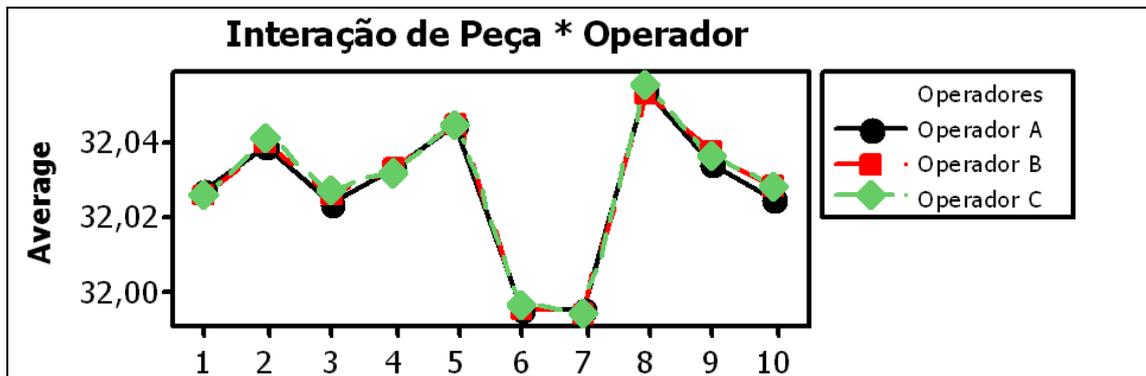


Gráfico 16: Interação de Peça x Operador do sistema de medição proposto
 Fonte: Elaborado pelo Autor

4.4.2 CEP – Controle Estatístico de Processo

A análise estatística do processo foi realizada novamente nas mesmas 85 peças medidas e analisadas anteriormente, agora com o sistema de medição proposto, que apresenta um índice de R&R de 20,82% de contribuição da tolerância.

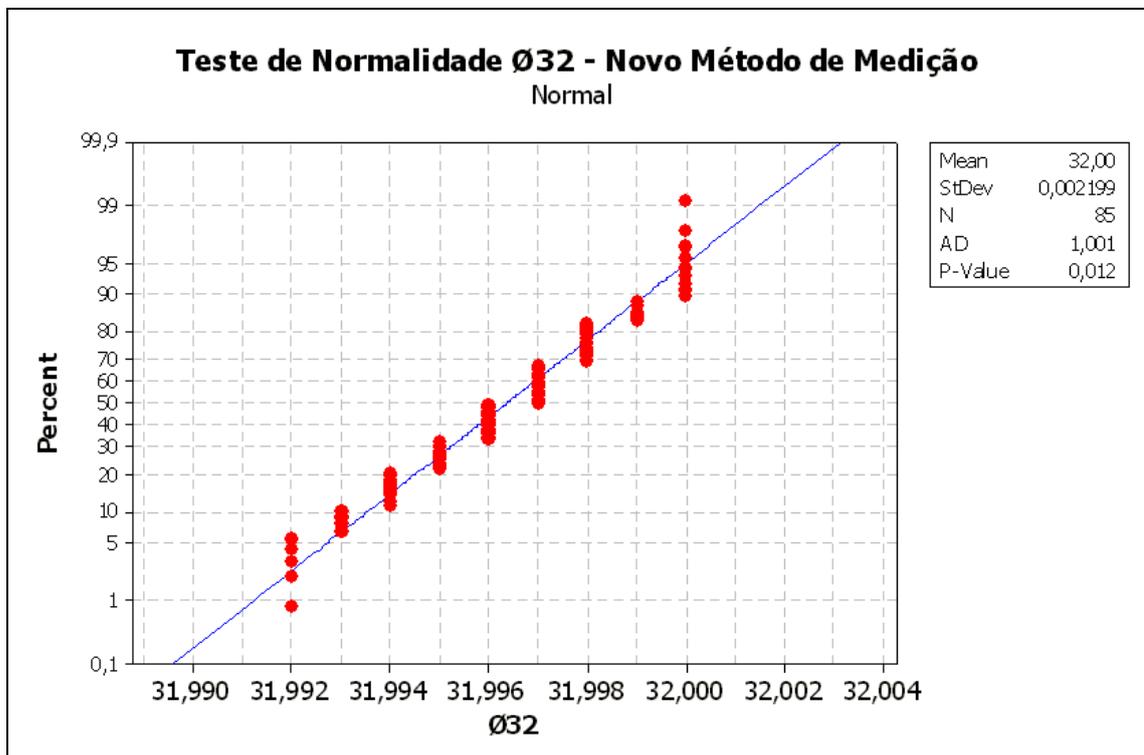
O operador A realizou as medições, registrando em planilha de acordo com sua identificação, conforme tabela 6.

Tabela 6: Registro da coleta de dados do CEP do sistema de medição proposto

Peça	Medida								
1	31,996	18	31,996	35	31,998	52	31,997	69	31,996
2	31,996	19	31,995	36	31,993	53	31,998	70	32,000
3	31,995	20	31,997	37	31,995	54	31,995	71	32,000
4	31,997	21	31,997	38	31,997	55	31,996	72	31,996
5	31,998	22	31,995	39	31,997	56	31,994	73	31,997
6	31,996	23	31,994	40	31,995	57	31,997	74	31,997
7	31,993	24	31,995	41	31,997	58	31,998	75	31,998
8	31,994	25	31,996	42	31,998	59	31,996	76	31,999
9	31,999	26	31,995	43	31,992	60	31,997	77	31,998
10	31,992	27	31,994	44	31,993	61	31,996	78	31,998
11	31,992	28	31,996	45	31,994	62	31,994	79	31,996
12	31,995	29	31,997	46	31,992	63	32,000	80	31,998
13	31,994	30	31,999	47	31,995	64	31,994	81	31,998
14	31,993	31	31,997	48	31,996	65	31,992	82	32,000
15	31,994	32	31,998	49	32,000	66	31,996	83	31,998
16	31,997	33	32,000	50	32,000	67	31,997	84	31,999
17	31,998	34	32,000	51	31,997	68	31,999	85	32,000

Os resultados da planilha foram analisados em um software específico, gerando os resultados estatísticos do processo.

O primeiro resultado gerado foi o teste de normalidade. No gráfico 17, pode-se observar que o resultado do valor-p apresenta valor de 0,012, sendo menor que 0,05, se caracterizando uma distribuição não normal.

**Gráfico 17: Teste de Normalidade com sistema de medição proposto**

Fonte: Elaborado pelo Autor

Em seguida foi gerado o gráfico de carta XBar-R, com sub-grupos de 5 resultados. No gráfico 18 foi analisada a média das médias, onde o limite de controle superior apresentou um resultado de 31,998924mm e o inferior 31,993852mm, ficando os limites de controle dentro dos limites de especificação. A linha central apresentou um resultado de 31,996388mm.

Na análise das médias das amplitudes, o limite superior de controle teve resultado de 0,0093mm e a linha central de 0,0044mm.

Foram analisadas novamente oito características de causas especiais:

- 1 - 1 ponto a mais do que 3 desvios padrão a partir da linha central;
- 2 - 7 pontos consecutivos no mesmo lado da linha central;
- 3 - 6 pontos consecutivos, todos aumentando ou diminuindo;
- 4 - 14 pontos consecutivos, alternando acima e abaixo;
- 5 - 2 e 3 pontos > 2 desvios padrão a partir da linha central;
- 6 - 4 a 5 pontos > 1 desvio padrão a partir da linha central;
- 7 - 15 pontos consecutivos dentro de 1 desvio padrão da linha central; e
- 8 - 8 pontos consecutivos > 1 desvio padrão a partir da linha central.

Pode-se verificar no gráfico que o processo apresentou causas especiais em dois pontos. As causas especiais foram referentes a uma média de sub-grupo acima de três desvios padrão e outra abaixo de três desvios padrão a partir da linha central.

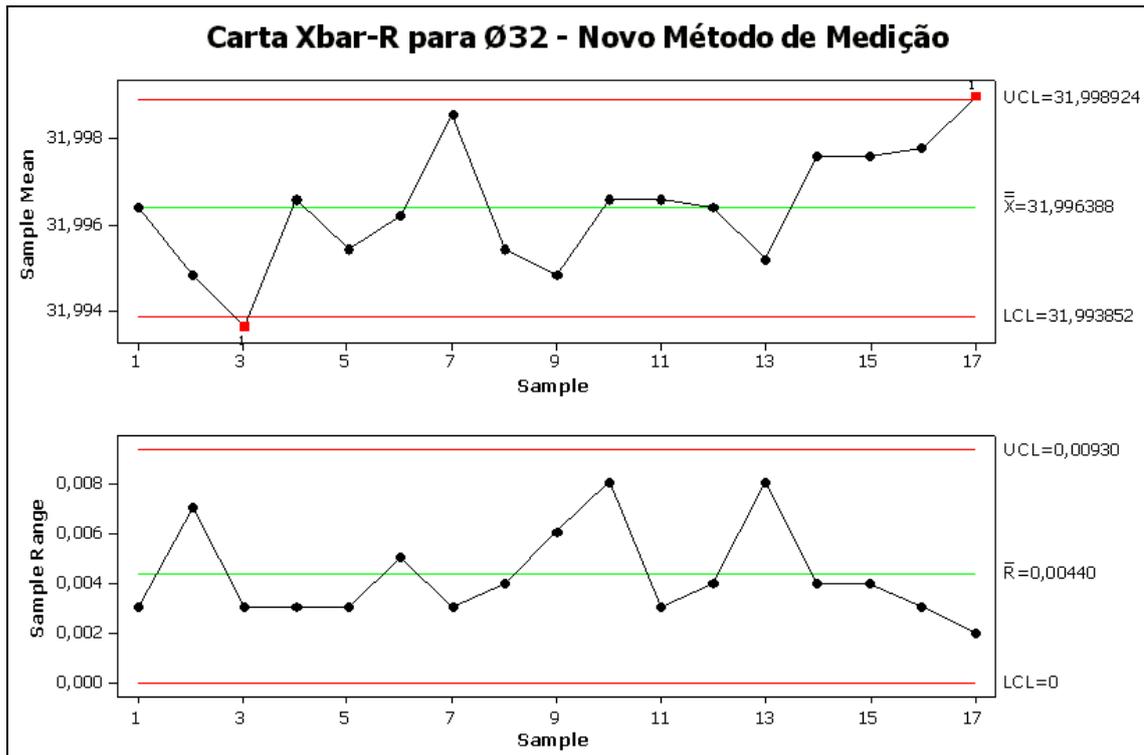


Gráfico 18: Carta Xbar-R com sistema de medição proposto

Fonte: Elaborado pelo Autor

Na próxima etapa, foi analisada a carta de controle individual e amplitude móvel, conforme gráfico 19. Nos valores individuais, os limites de controles superiores e inferiores também permanecem dentro dos limites de especificação, 32,00126mm e 31,99151mm, respectivamente. A linha central apresentou o resultado de 31,99639mm.

No gráfico da amplitude móvel, o limite superior de controle apresentou resultado de 0,00599mm e a linha central 0,001833mm.

Foram analisados os mesmos oito critérios de causas especiais. No gráfico de valor individual continua evidenciando presença de causas especiais caracterizadas por dois pontos maiores dois desvios padrão a partir da linha central e quatro pontos maiores um desvio padrão a partir da linha central. Na análise da amplitude móvel observa-se que quatro pontos apresentam causas especiais, com resultado acima de três desvios padrão a partir da linha central.

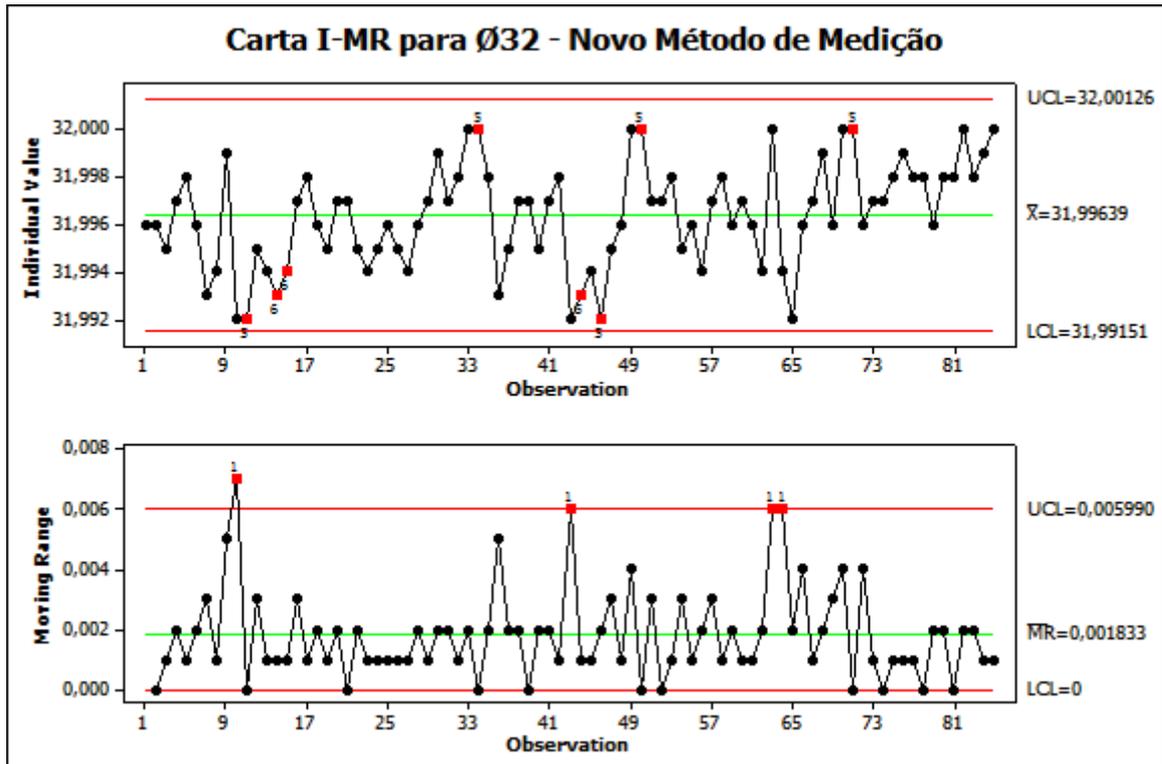


Gráfico 19: Carta I-MR com sistema de medição proposto

Fonte: Elaborado pelo Autor

Devido o processo apresentar característica de distribuição não normal e apresentar causas especiais, não é possível realizar a análise de capacidade do processo através dos índices de cp e cpk.

Neste caso, foi analisado o índice de desempenho de processo, através dos índices de pp e ppk. Foi utilizado o método de Weibull para cálculo deste índice, conforme gráfico 20.

O índice de pp apresentou resultado de 1,79 e o índice de ppk 1,36. A performance da coleta medida não apresentou índice de peças rejeitadas, porém a performance da distribuição Weibull apresentou uma probabilidade de defeitos ao longo do lote de 145,20 PPM ou 0,0145%.

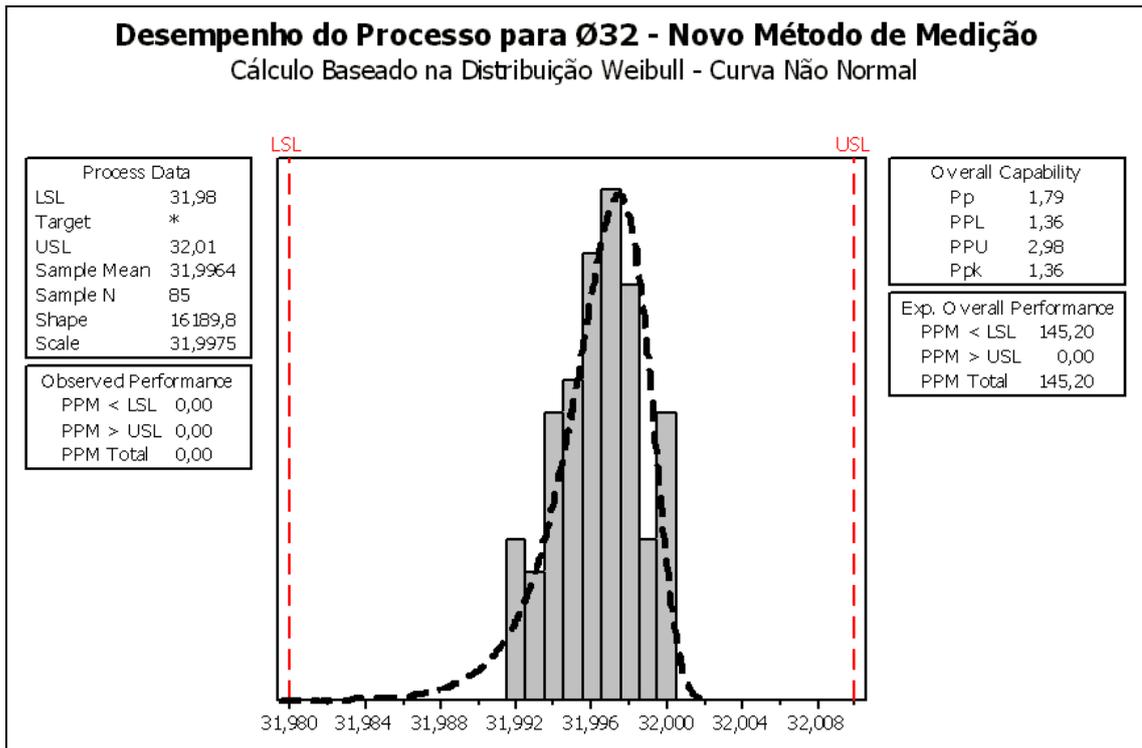


Gráfico 20: Desempenho do Processo com sistema de medição proposto

Fonte: Elaborado pelo Autor

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados deste estudo de caso, interpretando e analisando as evidências anteriormente observadas.

Realizando uma comparação entre os resultados da análise do R&R do sistema de medição padrão e do proposto, pode-se verificar a melhoria do processo de medição, conforme tabela 7.

Tabela 7: Comparação de resultados dos sistemas de medições

	Sistema de medição Padrão Micrômetro	Sistema de Medição Proposto Comparador de Diâmetro	% de Melhoria
Erro de Indicação	0,005 mm	0,0014 mm	357%
Discriminação	6	30	500%
NDC	7	25	357%
R&R	70,42%	20,82%	338%
Pp	0,64	1,79	280%
Ppk	0,48	1,36	283%

Destaca-se no trabalho o erro de indicação do instrumento que houve melhora de 357%. Diminuindo a variação do fator instrumento no sistema de medição, o resultado no estudo de R&R representou uma melhora de 338%. Antes, o sistema de medição apresentava o R&R em 70,42%, e com o sistema de medição proposto apresentou com 20,82%.

Para o Manual de Referência MSA Quarta Edição (2010), sistema de medição é a coleção de instrumentos ou dispositivos de medição, padrões, operações, métodos, dispositivos de fixação, software, pessoal, ambiente e premissas utilizadas para quantificar a unidade de medição ou corrigir a avaliação de uma característica sendo medida.

Com a melhoria no sistema de medição analisado através do estudo de R&R pode-se considerar o processo de inspeção aprovado.

O Manual de Referência do MSA (2010) sugere a seguinte regra para análise do sistema de medição:

- %RR entre 10% e 30% → sistema de medição marginal, podendo ser aceito dependendo da situação, custos, etc.

No gráfico 21, comparação dos gráficos medidas por peça, pode-se observar a redução da variação entre as peças, diminuindo a repetitividade.

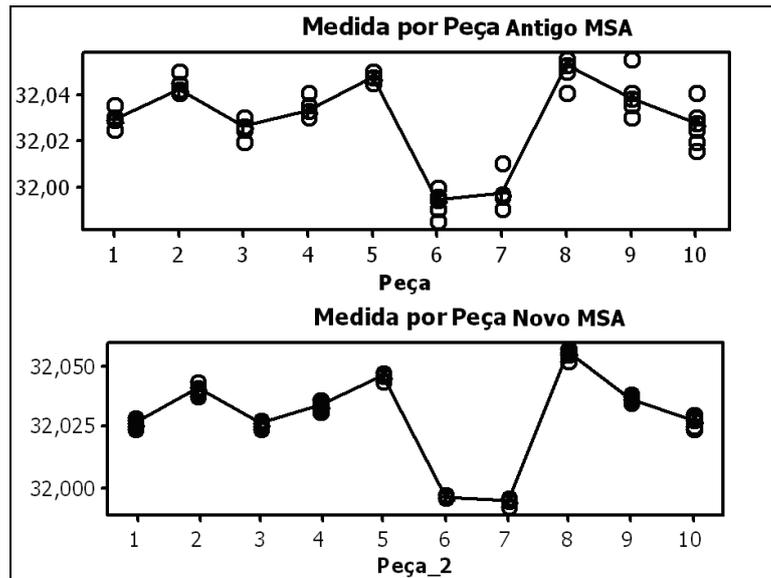


Gráfico 21: Comparação Gráficos Medida por peça
 Fonte: Elaborado pelo Autor

Conforme Vieira (2012), uma das causas possíveis de baixa repetitividade são variação do instrumento e instrumento não adequado para aplicação.

Com a melhora da discriminação do instrumento, houve também a redução do índice de reprodutibilidade, conforme se observa no gráfico 22, comparação gráficos medida por operador. Esta redução da discriminação eliminou a necessidade de interpretação do avaliador em arredondar para cima ou para baixo o resultado encontrado no instrumento inicial.

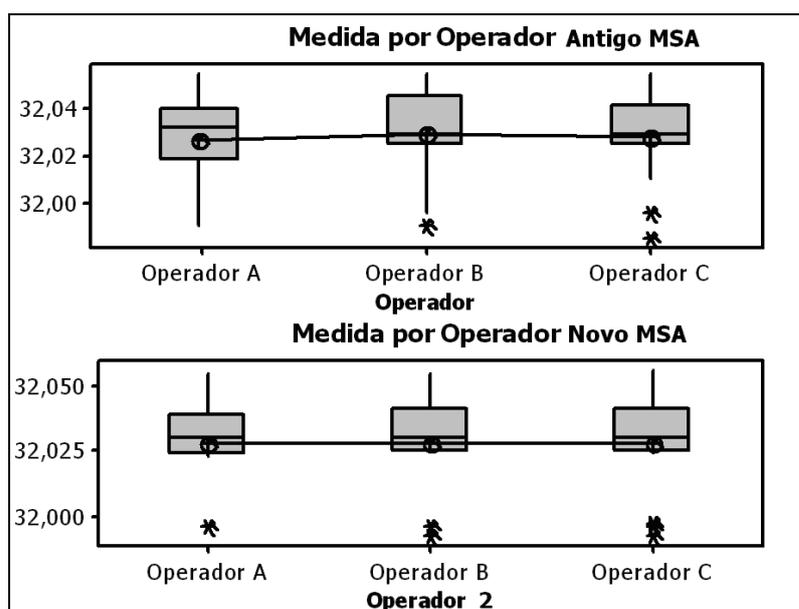


Gráfico 22: Comparação Gráficos Medida por operador
 Fonte: Elaborado pelo Autor

Conforme Vieira (2012), potenciais fontes de erro de reprodutibilidade são: variação entre avaliadores e eficácia do treinamento do operador e para o Manual de Referência do MSA (2010) para controlar o processo, a variabilidade do sistema de medição deve demonstrar uma resolução efetiva e pequena comparada com a variação do processo de manufatura.

A melhoria no resultado do sistema de medição, influenciou diretamente no resultado do processo. A eliminação das causas especiais não foi possível realizar atuando somente com o sistema de medição, porém o desempenho do processo melhorou em 280% no índice de PP e 283% no de Ppk.

Conforme Vieira (2012), para melhorar a qualidade de um produto, é preciso conhecer as causas de variação que interferem no processo de produção porque, a final, a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade. Mas a variabilidade das medidas de um produto é explicada não somente pela variação das medidas do próprio produto, mas também pelos erros de medição.

O valor de Pp 1,79 foi de e o de Ppk de 1,36. Com estes índices, o processo é considerado aprovado.

Conforme o Manual de Referência do PPAP (2005), a organização deve usar o seguinte critério de aceitação para avaliar os resultados de estudo inicial de processo:

Índice $> 1,67$: O processo atualmente atende o critério de aceitação

$1,33 < \text{Índice} < 1,67$: O processo pode ser aceitável.

No gráfico 23, comparação dos gráficos de desempenho de processo, observa-se no sistema de medição proposto um número maior de divisões de resultados encontrados do que no sistema de medição antigo. Isso devido a resolução do instrumento. Nos dois sistemas existem tendências de ocorrerem resultados abaixo do limite inferior de processo, evidenciando descentralização.

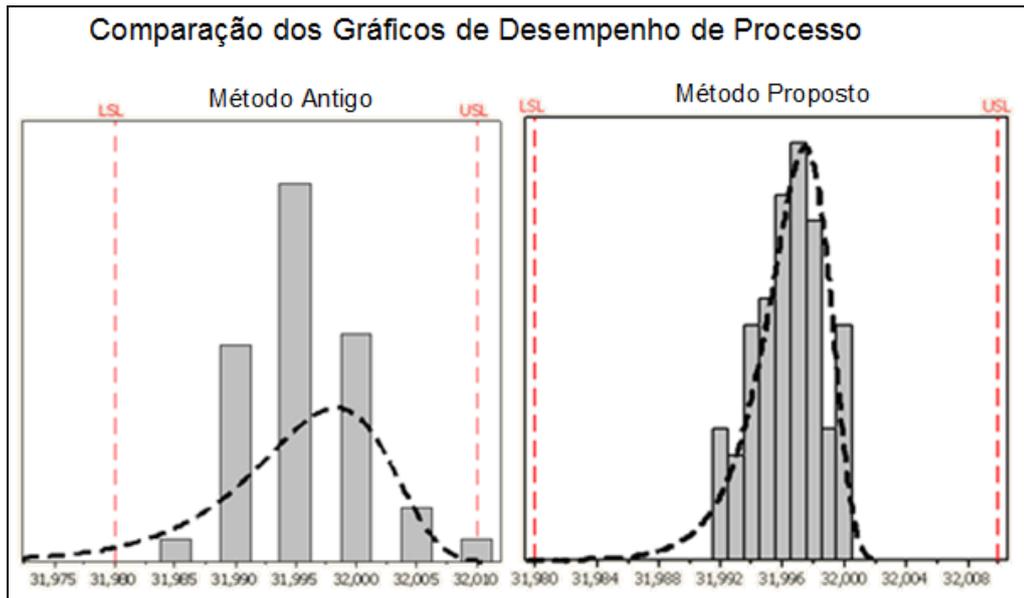


Gráfico 23: Comparação Gráficos de Desempenho de Processo

Fonte: Elaborado pelo Autor

Conforme Montgomery (2004), a resolução é a quantidade de mudança de um valor de referência que um instrumento pode detectar e indicar de maneira confiável. Os índices de desempenhos são representados por Pp e Ppk. Pp compara o desempenho do processo à variação máxima permitida pela tolerância. Ppk leva em conta a centralização do processo e o desempenho, conforme Diniz (2001).

Devido ser analisado o estudo inicial do processo, não foi possível analisar se houve redução de custo no processo.

Serão apresentadas, a seguir, as considerações finais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho tinha como objetivo principal avaliar estudos iniciais do processo com o sistema de medição padrão da empresa e com um sistema de medição proposto pelo acadêmico.

Para atingir o objetivo foram coletados dados do processo de fabricação, analisando através de *software* específico, o estudo do sistema de medição e de desempenho do processo, comparando resultados do método padrão da empresa e do proposto, através do R&R e desempenho do processo.

Com a realização do estudo de caso foi possível analisar a contribuição do sistema de medição na qualidade do processo de fabricação, pois quanto menor a contribuição, menor será a variabilidade do processo por erro de indicação.

Desta forma, acredita-se que o problema da pesquisa: “é possível atender a qualidade do processo de fabricação melhorando somente o sistema de medição?” tenha sido respondido.

Através deste estudo foi possível alcançar os objetivos propostos e relacionar a realidade observada com o referencial teórico. Com a proposta o sistema de medição apresentou uma melhoria de 338%, comparando com o sistema utilizado pela empresa. O novo sistema representou uma melhoria de 280% no índice de desempenho do processo.

O desempenho do processo com o sistema de medição padrão da empresa apresentava um resultado no estudo inicial de 0,64. No estudo com as mesmas peças, mas com o sistema proposto, o desempenho apresentou o índice de 1,79. Este índice é considerado aprovado, respondendo a questão da pesquisa do trabalho.

Este resultado do estudo dá oportunidade para a empresa implementar a melhoria proposta em produtos com características de controle similares e analisar outros sistemas de medição utilizados. Para a empresa, que está em processo de aprendizado na aplicação destas ferramentas estatísticas de processo, esta análise trouxe desenvolvimento na competência dos gestores, analistas e operadores envolvidos no processo de fabricação.

Para o processo ser capaz e estável, ainda é necessário investigar mais causas. O objetivo do trabalho era atuar em cima do sistema de medição, o que não eliminou todas as causas especiais encontradas no processo. Ações como essas fortalecem e deixam o processo robusto, com baixas ou inexistentes possibilidades de desvios das especificações do projeto.

Como limitação deste trabalho destaca-se a indisponibilidade de livros atualizados, especialmente na área de ferramentas como MSA e CEP, sendo mais utilizados manuais de referência técnicos.

Outra questão foi a indisponibilidade de peças em quantidade ideal para fazer o estudo, por motivo das peças ficarem segregadas para repetir novamente a medição.

Este trabalho mostrou-se muito importante para o acadêmico, pelo crescimento profissional no decorrer do estudo e ao conhecimento adquirido através do referencial teórico pesquisado.

Sugerem-se futuros estudos de caso para eliminar as causas especiais do processo, atuando diretamente na fabricação, e aplicação dos demais estudos do MSA; estabilidade, tendência e linearidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Especificação Técnica ISO/TS 16949:2009. Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos particulares para aplicação da ABNT ISO 9001:2008 para organizações de produção automotivas e peças para reposição pertinentes, Segunda Edição: 2009.

BROCKA, Bruce & BROCKA, M. Suzane. Gerenciamento da Qualidade, São Paulo: Makron Books, 1994.

CAMPOS, Vicente Falconi TQC: Controle da Qualidade Total. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CARPINETTI, L. C. R. Gestão da Qualidade ISO 9001: Princípios e Requisitos. São Paulo: Atlas, 2007.

CASTELLS, M. A sociedade em rede: a era da informação, economia, sociedade e cultura. São Paulo: Paz e Terra, 2000.

DINIZ, Marcelo Gabriel. Desmistificando o Controle Estatístico de Processo. ARTLIBER, 2001.

GARVIN, D. A. Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIRARD C. E. Criação de alinhamento e sinergia para core tools. Quality, 2005

HUTCHINS, Greg. ISO 9000: Um guia completo para o registro, as diretrizes da autonomia e a certificação bem-sucedida. São Paulo: Makron Books, 1994.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. Análise de sistema de medição – MSA, Manual de referência. 4ª. Ed. São Paulo: IQA, 2010

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. Controle Estatístico do Processo – CEP, Manual de referência. 2ª. Ed. São Paulo: IQA, 2006

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. Planejamento Avançado da Qualidade do Produto – APQP, Manual de referência. 2ª. Ed. São Paulo: IQA, 2008

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. Processo de Aprovação de Peças da Produção – PPAP, Manual de referência. 4ª. Ed. São Paulo: IQA, 2006

KEMPER & RAMALHO. Treinamento de Requisitos Específicos ISO/TS 16949. São Paulo, 2009.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. São Paulo: Atlas, 1999

MONTGOMERY, Douglas C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2004

OAKLAND, J. S. Gerenciamento da qualidade total. São Paulo: Nobel, 1994.

OKES, D. Organize suas Ferramentas da Qualidade, Quality Progress , 2002.

PALADINI, Edson Pacheco. Gestão da Qualidade: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2000.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. Metodologia do trabalho científico:métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo: Feevale, 2009.

PUENTE J. et al. Um sistema de apoio a decisão para aplicação de FMEA. International Journal of Quality & Reliability Management, 2002.

REIS, S. Dias e MAÑAS, A. V. ISO 9000 – Implementação e gerenciamento para a Qualidade total. São Paulo: Érica, 1995.

RICHARDSON, Roberto Jarry ... (et al). Pesquisa social: métodos e técnicas. São Paulo: Atlas, 1999.

SLACK, Nigel. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 2002.

SHIBA, S. TQM: quatro revoluções na gestão da qualidade. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

SHIGUNOV, Alexandre. Manual de gestão da qualidade aplicado aos cursos de graduação, Rio de Janeiro: Forense, 2004.

TENG S.H.; HO S.Y. Uma abordagem integrada para o projeto e controle de processo .International Journal of Quality & Reliability Managemen, 1996.

VANDENBRANDE W. Como usar o FMEA para reduzir desperdícios da qualidade. Quality Progress, 1998.

VIEIRA, Sônia. Estatística para a qualidade. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2012

YIN, Robert K. Estudo de Caso, planejamento e métodos. 2.ed. Sao Paulo: Bookman, 2001.