



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA GEOCIÊNCIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DANILO GOMES CAVALCANTI

**ANÁLISE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE R&R EM
CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DE ENGRENAGENS SATÉLITES DO CONJUNTO
DIFERENCIAL PRODUZIDAS EM LINHA DE PRODUÇÃO**

Recife

2019

DANILO GOMES CAVALCANTI

**ANÁLISE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE R&R EM
CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DE ENGRENAGENS SATÉLITES DO CONJUNTO
DIFERENCIAL PRODUZIDAS EM LINHA DE PRODUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Pernambuco como requisito para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento Oliveira.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

C376a Cavalcanti, Danilo Gomes.

Análise de sistema de medição através de R&R em características críticas de engrenagens satélites do conjunto diferencial produzidos em linha de produção / Danilo Gomes Cavalcanti. – 2019.

103f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento Oliveira.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.

Departamento de Engenharia Mecânica, 2019.

Inclui Referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. MSA. 3. R&R. 4. Repetibilidade. 5. Reprodutibilidade. 6. ANOVA. I. Oliveira, Carlos Augusto do Nascimento (Orientador). II. Título.

DANILO GOMES CAVALCANTI

**ANÁLISE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE R&R EM
CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DE ENGRENAGENS SATÉLITES DO CONJUNTO
DIFERENCIAL PRODUZIDAS EM LINHA DE PRODUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Pernambuco como requisito para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Aprovada em: 08 / 07 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Carlos Augusto do N. Oliveira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Me. Alex Elton de Moura (Examinador Externo)
Instituto Federal de Pernambuco

Profº. Me. Rogério Pontes de Araújo (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela minha saúde e conforto nas horas mais difíceis.

Gostaria de agradecer a minha mãe Regilene Gomes, ao meu pai Guido Cavalcanti e ao meu irmão Vitor Cavalcanti por todo suporte e conselhos dados durante todo o curso.

Um agradecimento a minha noiva e amiga Vanessa Aquino, que nunca me deixou desistir e me ajuda nas conquistas dos meus sonhos.

Um agradecimento ao meu orientador Carlos Augusto do Nascimento Oliveira pela paciência, apoio, companheirismo e ensinamentos.

Por fim, gostaria de agradecer toda assistência da Universidade Federal de Pernambuco para realização do presente trabalho.

RESUMO

Cada vez mais os clientes estão exigindo que seus fornecedores tenham um Sistema de Gestão da Qualidade mais robusto de forma a viabilizar os preceitos da indústria 4.0 e valorizar as necessidades do cliente desde a concepção do produto até sua produção em escala industrial. No caso do setor automotivo, o certificado ISO/TS 16949 de gestão da qualidade, migrou para o mais recente sistema denominado IATF 16949:2016 que passou a ser obrigatório em toda a cadeia de suprimentos. A IATF 16949 faz referência MSA para análises de sistema de medição. O MSA é um manual de referência elaborado pelo grupo AIAG (*Automotive Industry Action Group*). O manual MSA tem como objetivo apresentar diretrizes para avaliação da qualidade de um sistema de medição através dos estudos de estabilidade, tendência, linearidade e R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade), priorizando os estudos em características críticas. Especificamente neste trabalho será conduzido pelo estudo de R&R. Assim, o foco deste trabalho foi a análise do sistema de medição em engrenagens satélites do conjunto diferencial, em suas cotas críticas pelo estudo de R&R, mais especificamente pelo método ANOVA. O objetivo do R&R estudo é encontrar a estimativa da variação combinada da repetibilidade e da reprodutibilidade. O *software* que utilizado para análise foi o *minitab* 18, que possibilitou calcular corretamente, conforme manual MSA, a qualidade do sistema de medição, através do método ANOVA. Os resultados obtidos através do estudo de R&R foram positivos, demonstrando que, de acordo com os critérios de aceitação definidos, o sistema de medição está adequado.

Palavras-chave: MSA. R&R. Repetibilidade. Reprodutibilidade. ANOVA.

ABSTRACT

Increasingly, customers are demanding that their suppliers have a more robust Quality Management System in order to enable the precepts of the industry 4.0 and to value the customer's needs from product design to industrial scale production. In the case of the automotive sector, the ISO / TS 16949 quality management certificate migrated to the most recent system known as IATF 16949:2016, which became mandatory throughout the supply chain. The IATF 16949 refers to MSA handbook for measurement system analyses studies. The MSA is a reference handbook developed by the Automotive Industry Action Group (AIAG). The MSA manual aims to present guidelines for evaluating the measurement system quality through stability, trend, linearity and R&R (Repeatability and Reproducibility) studies, prioritizing studies on critical characteristics. This work will be conducted specifically by the R&R study. Thus, the focus of this work was the measurement system analysis of the satellite gears of the differential set, in their critical dimensions and by the R&R study, more specifically by the ANOVA method. The objective of the R&R is to find the estimate of the combined variation of repeatability and reproducibility. The software used for analysis was the minitab 18, which allowed to correctly calculate, according to MSA manual, the measurement system quality, using the ANOVA method. The results obtained through the R&R study were positive, demonstrating that, according to the defined acceptance criteria, the measurement system is adequate.

Keywords: MSA. R&R. Repeatability. Reproducibility. ANOVA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da estrutura da ISO 9001:2015 no ciclo PDCA.....	18
Figura 2 - Representação gráfica da estabilidade.....	21
Figura 3 - Boa estabilidade.....	22
Figura 4 - Problemas de estabilidade.....	22
Figura 5 - Representação gráfica da tendência.....	23
Figura 6 - Representação gráfica da linearidade.....	23
Figura 7 - Representação gráfica da repetibilidade.....	24
Figura 8 - Representação gráfica da reprodutibilidade.....	26
Figura 9 - Componentes da variação total (VT).....	27
Figura 10 - Carta de média aceitável	33
Figura 11 - Carta de amplitude.....	34
Figura 12 - Componentes do conjunto diferencial	35
Figura 13 - Engrenagem satélite do diferencial antes e após operação de brochamento de estrias.....	38
Figura 14 - Engrenagem Satélite do Diferencial: Batimento do furo.....	40
Figura 15 - Método de medição do batimento do furo.....	40
Figura 16 - Engrenagem Satélite do Diferencial: Batimento da calota	41
Figura 17 - Método de medição do batimento da calota	41
Figura 18 - Relógio comparador com resolução de 0,001mm.....	42
Figura 19 - Engrenagens satélite do diferencial	42
Figura 20 - Entrada de dados de medição no minitab.....	43
Figura 21 - Estudo de medição R&R pelo método ANOVA.....	44
Figura 22 - Carta de médias não superpostas para a cota batimento da calota	49
Figura 23 - Médias das medições para a cota batimento da calota	49
Figura 24 - Carta de amplitude para a cota batimento da calota.....	50
Figura 25 - Porcentagem de contribuição e variação para a cota batimento da calota	50
Figura 26 - Gráfico de Interação Peça * Operador para a cota batimento da calota .	51
Figura 27 - Carta de médias não superpostas para a cota batimento do furo.....	54
Figura 28 - Médias das medições para a cota batimento do furo.....	54
Figura 29 - Carta de amplitude para a cota batimento do furo	54
Figura 30 - Porcentagem de contribuição e variação para a cota batimento do furo	55

Figura 31 - Gráfico de Interação Peça * Operador para a cota batimento do furo55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critério de R&R	28
Tabela 2 - Classificação de acordo com o NDC.....	29
Tabela 3 - Relação entre %R&R e NDC	30
Tabela 4 - Fluxo da peça na linha de produção	37
Tabela 5 - Plano de controle das características críticas na operação de brochamento de estrias	38
Tabela 6 - Plano de controle para características críticas na operação de brochamento de estrias	39
Tabela 7 - Coleta de dados de medição do batimento da calota.....	45
Tabela 8 - Coleta de dados de medição do batimento do furo	46
Tabela 9 - Nível de significância para a cota batimento da calota.....	46
Tabela 10 - Componente de variância e porcentagem de contribuição para a cota batimento da calota	47
Tabela 11 - Desvio padrão e porcentagem de variação para a cota batimento da calota	48
Tabela 12 - Nível de significância para a cota batimento do furo	51
Tabela 13 - Componente de variância e porcentagem de contribuição para a cota batimento do furo	52
Tabela 14 - Desvio padrão e porcentagem de variação para a cota batimento do furo	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	SISTEMA DE MEDIÇÃO	14
2.2	ERRO DE MEDIÇÃO	14
2.2.1	Erro Sistemático	15
2.2.2	Erro Aleatório	15
2.3	INDÚSTRIA 4.0 E QUALIDADE	15
2.4	SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	16
2.5	NORMATIZAÇÃO	16
2.5.1	ISO 9001:2015	17
2.5.2	International Automotive Task Force - IATF 16949:2016	18
2.5.2.1	Plano de controle	19
2.5.2.1.1	<i>Característica crítica</i>	20
2.6	AIAG	20
2.6.1	MSA – Análise de Sistemas de Medição	20
2.6.1.1	Estabilidade	21
2.6.1.2	Tendência	22
2.6.1.3	Linearidade	23
2.6.1.4	Repetitividade	24
2.6.1.5	Reprodutibilidade	25
2.7	REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE (R&R) DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO	26
2.7.1	Critérios de aceitação	27
2.7.1.1	Porcentagem R&R	27
2.7.1.2	Número de distintas de categorias (NDC)	28
2.7.1.3	Relação entre R&R e NDC	29
2.7.2	Técnicas do estudo dos dispositivos de medição	30
2.7.2.1	Método da Amplitude	31
2.7.2.2	Método da Média e Amplitude	31
2.7.2.3	Método da Análise de Variância (ANOVA)	32

2.8	ANÁLISE GRÁFICA	33
2.8.1	Carta de médias	33
2.8.2	Carta de amplitudes	34
2.9	CONJUNTO DIFERENCIAL	34
3	METODOLOGIA	36
3.1	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	36
3.1.1	Exigências dos clientes	36
3.1.2	Identificação da Etapa do Processo Objeto dos Estudos	36
3.1.2.1	Brochamento de Estrias	38
3.1.3	Definição das características críticas	39
3.1.4	Identificação do sistema de medição	39
3.1.5	Seleção das peças	42
3.1.6	Definição dos avaliadores	43
3.1.7	Software utilizado na análise dos dados	43
4	RESULTADOS	45
4.1	DADOS DAS MEDIÇÕES	45
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	46
4.2.1	Batimento da calota	46
4.2.2	Batimento do furo	51
5	CONCLUSÃO	57
6	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	58
7	REFERÊNCIAS	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste em um estudo estatístico de medição, realizado em engrenagens satélites nas instalações de uma indústria metal mecânica do setor automotivo e de motos.

Tais engrenagens são produzidas em linhas de produção, destinadas a clientes automotivos. Todos os parâmetros de controle necessários para produção dessas peças são definidos por esses clientes.

As engrenagens satélites em questão são partes que compõem conjuntos diferenciais, comumente utilizados em veículos automotivos. O diferencial compensa as diferentes rotações das rodas de tração entre as rodas externas e internas durante a curva (BOSH, 2018). Um carro ao realizar uma curva não pode ter a mesma rotação na roda externa e interna pois essas percorrem trajetos de diferentes comprimentos. As engrenagens satélites possibilitam que haja essa diferença de rotação entre as rodas externa e interna, ou seja, são fundamentais para que o carro realize curvas.

Os requisitos do sistema de gestão da qualidade para empresas do ramo automotivo são constituídos pelos requisitos específicos de clientes (REC) em conjunto com a norma do sistema de gestão da qualidade automotiva IATF 16949 — *International Automotive Task Force* (SANTOS; NETO, 2019). Ou seja, a delimitação do problema desse estudo é definida por padrão normativo específico para a indústria automotiva e outras exigências de clientes.

Durante o trabalho foi visto que os requisitos definem que os estudos devem seguir o manual de referência de Análise de Sistema de Medição (MSA — *Measurement System Analysis*), pelo estudo de R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade), através do método ANOVA.

Neste trabalho foi feito: levantamento dos parâmetros da linha de produção que podem ser objeto do estudo via R&R, identificação e seleção dos parâmetros das peças a serem avaliados, realização das medições e análise dos resultados, conforme delimitação do problema. Todos os dados coletados foram obtidos em linha de produção em uma indústria metal mecânica.

A norma qualidade automotiva visa garantir a qualidade do sistema de gestão por completo. Isso inclui o desempenho dos sistemas de medição que estabelece as formas de controle utilizadas neste trabalho para atingir o atendimento as especificações do produto e contribuir na melhoria contínua dos processos.

É nesse âmbito que a análise do sistema de medição faz-se fundamental, garantindo além do atendimento aos requisitos obrigatórios, a avaliação do sistema de medição, identificando se o mesmo é capaz de garantir a confiabilidade na obtenção dos dados de medição.

Neste sentido, o método ANOVA é utilizado para identificar o percentual de R&R e o NDC que são critérios de aceitação definidos em bibliografia MSA - *Measurement System Analysis*.

Como resultados foi possível visualizar que a investigação feita no sistema de medição para as engrenagens satélites se mostrou adequado para atender os requisitos dos clientes. Isso se verifica através dos índices calculados que nos levam a considerar aceitável o sistema de medição aplicado.

1.1 OBJETIVOS

Nesta seção estão abordados todos os objetivos que guiam esse trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

Usar os conceitos de Análise de Sistema de Medição, através da técnica de R&R, pelo método ANOVA para qualificar estatisticamente a viabilidade do sistema de medição, peças de transmissão de movimento produzidas em linha de produção.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Levantar os parâmetros da linha de produção que podem ser objeto do estudo de R&R (Requisitos Específicos de Clientes, Padrões Normativos e Aplicação do R&R);
- b) Selecionar e identificar os parâmetros das peças a serem avaliados;
- c) Realizar as medições das peças;
- d) Analisar os resultados quanto ao R&R aplicando o método ANOVA.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção foi feita a fundamentação do trabalho, para que haja uma melhor compreensão e o aparato teórico necessário para elaboração do mesmo.

2.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO

Sistema de medição pode ser constituído por um ou mais instrumentos de medição, que são mecanismos utilizados para realizar medições, podendo haver a utilização de outros dispositivos, com o objetivo de obter os valores mensurados, dentro de intervalos, grandezas e natureza especificada (INMETRO, 2012).

Convergindo com essa definição, Toledo (2014) define os conjuntos que constituem um sistema de medição, que inclui: instrumentos, dispositivos, padrões, métodos, *software* pessoal e ambiente.

Já para Albertazzi e Sousa (2018) o sistema de medição é a forma como a medição é efetuada, que permite confrontar o mensurando com a unidade de medição para obter as unidades e frações de medição contidas no mensurando.

2.2 ERRO DE MEDIÇÃO

Erro de medição é a diferença entre o valor indicado pelo sistema de medição e o valor verdadeiro mensurado, podendo ser decomposto em duas parcelas: erro sistemático e erro aleatório (ALBERTAZZI; SOUSA, 2018).

Ainda conforme ALBERTAZZI e SOUSA (2018) o erro de medição pode ser calculado de uma forma muito simples pela equação 1 abaixo:

$$E = I - VV \quad (1)$$

Sendo:

E – Erro de medição

I – Indicação do sistema de medição

VV – Valor verdadeiro do mensurado

A capacidade de um sistema de medição é uma estimativa da variação combinada dos erros de medição (aleatórios e sistemáticos) baseada numa avaliação feita em curto prazo (AIAG, 2010).

2.2.1 Erro Sistemático

Erro sistemático é a média que resultaria de um número infinito de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando, ou seja, corresponde ao valor médio do erro de medição (JCGM, 2008; ALBERTAZZI; SOUSA, 2018).

São causas do erro sistemático: desgaste do sistema de medição, por fatores construtivos, pelo método de medição, por condições ambientais. A previsão é bastante difícil, pois esse erro não é constante na faixa de operação do sistema (LIRA, 2008).

2.2.2 Erro Aleatório

O erro aleatório é resultado de uma medição menos a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando efetuadas sob condições de repetitividade (JCGM, 2008).

O erro aleatório é a parcela imprevisível do erro de medição, responsável pelas variações encontradas em medições repetidas (ALBERTAZZI; SOUSA, 2018).

São causas do erro aleatório: vibrações, folgas, flutuações de rede, instabilidade interna, condições ambientais (LIRA, 2008).

2.3 INDÚSTRIA 4.0 E QUALIDADE

A indústria 4.0 já é bem difundida como uma manufatura avançada ou indústria inteligente e é o nome usado para marcar o que muitas consideram como a 4a revolução industrial. A indústria 4.0 vem para reinventar o processo produtivo e fugir de algumas padronizações, incentivando a customização. É o atender ao cliente que não deseja mais tudo igual e repetitivo. Atender ao cliente que valoriza termos como diferentes desempenhos, conforto e durabilidade. O uso de tecnologias avançadas para reinventar produtos e serviços, além de projetos de engenharia que valorizam a

aceleração da eficiência e permitem o surgimento de produtos personalizados oriundos de modelos inovadores são conceitos concretos nos novos segmentos que envolvem a fabricação, montagem e testes dos produtos.

2.4 SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE

Segundo Martinelli (2009) a Qualidade é o conceito universal aplicável a todos os produtos e serviços e, nesse sentido, organizações de todos os portes e de segmentos distintos têm na qualidade a essência da compreensão das necessidades de seus clientes, internos e externos.

A Melhoria contínua é a principal atividade presente de um processo, e para se assegurar de que o processo esteja em constante atualização, seguem alguns conceitos relacionados à gestão por processos (CARVALHO; PALADINI, 2005):

- a) O foco deve ser no cliente;
- b) A empresa deve estar orientada para o processo e não para as tarefas;
- c) O trabalho deve agregar valor;
- d) Uso intensivo de tecnologia da informação;
- e) Valorizar o trabalho em equipe;
- f) Gerenciar de forma mais holística;
- g) Vantagens podem ser obtidas realizando-se processos simultâneos.

Percebe-se que a qualidade está sempre voltada para a necessidade do cliente e na indústria metalúrgica no ramo automotivo não é diferente. Não apenas as peças produzidas devem estar conformidade com o especificado pelo cliente, mas todo o sistema de gestão da qualidade.

2.5 NORMATIZAÇÃO

Uma Norma Internacional fornece regras, diretrizes ou características para atividades ou para seus resultados, visando alcançar o grau ótimo de ordem em um determinado contexto. (ISO, 2019).

Grande parte das montadoras de automóveis exige que os fornecedores sejam certificados em normas específicas de gerenciamento de qualidade. Nesse trabalho duas normas necessárias serão abordadas com maior profundidade, a ISO 9001:2015

(Sistema de Gestão da Qualidade) e a IATF 16949:2016 (Norma de Sistema de Gestão da Qualidade Automotiva).

2.5.1 ISO 9001:2015

A *International Organization for Standardization* é a responsável pelas normas ISO em todo o mundo. Trata-se de uma organização internacional com sede em Genebra, fundada em 1946, que objetiva o desenvolvimento de normas técnicas para aplicação mundial, possuindo grande representatividade no estabelecimento de padrões internacionais para a gestão (GALBINSKI, 2008).

Segundo a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) que regula a versão brasileira da norma internacional ISO 9001, denominada NBR ISO 9001 (NBR é a sigla para Norma Brasileira), esta norma é baseada nos seguintes princípios de gestão da qualidade:

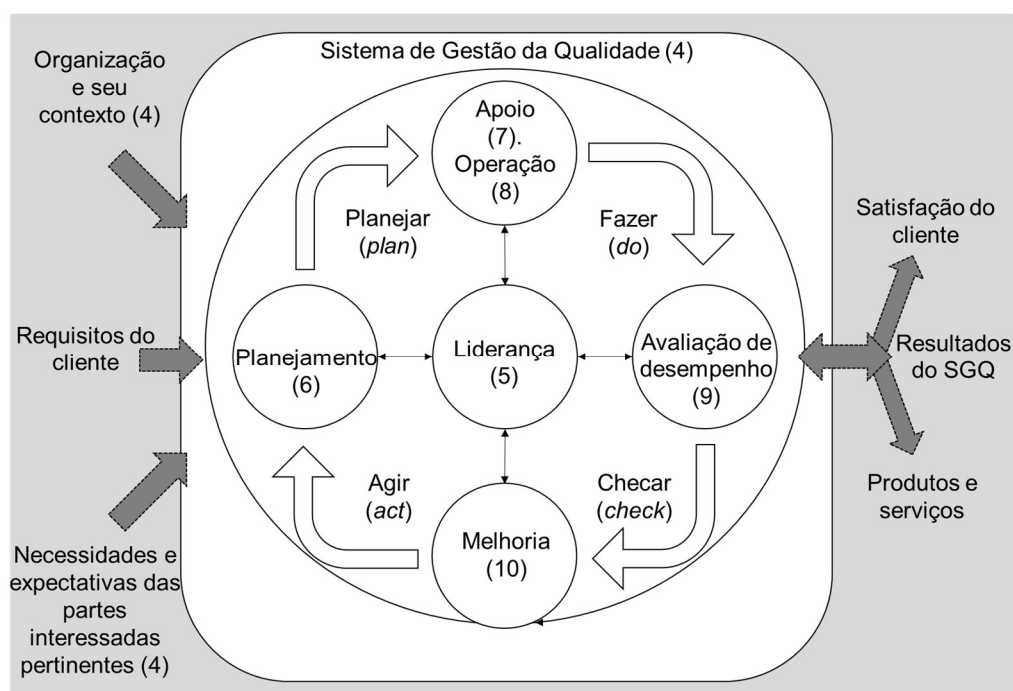
- a) Foco no cliente;
- b) Liderança;
- c) Engajamento das pessoas;
- d) Abordagem de processo;
- e) Melhoria;
- f) Tomada de decisão baseada em evidência;
- g) Gestão de relacionamento

Dentre eles, pode-se destacar a melhoria contínua, um dos pilares do conceito da ISO 9001 e um dos principais objetivos do Ciclo PDCA.

Nesse sentido Maekawa, Carvalho & Oliveira (2013) afirma que norma ISO 9001 está baseada no ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act). A ideia é manter um ciclo de melhoria contínua dos padrões de gestão sempre elevando o desempenho a um grau superior, partindo do Plan (planejar): estabelecer os objetivos e processos necessários para produzir resultados de acordo com os requisitos dos clientes e políticas da organização; Do (fazer): implementar os processos; Check (chechar): monitorar e medir processos e produtos em relação às políticas, aos objetivos e aos requisitos e relatar os resultados; e Act (agir): executar ações para promover continuamente a melhoria do desempenho do processo.

É possível avaliar o fluxograma do PDCA através da análise da figura abaixo:

Figura 1: Representação da estrutura da ISO 9001:2015 no ciclo PDCA



Fonte: Adaptado de ABNT, 2015

A eficácia dos processos será alcançada por meio da melhoria nas especificações, do seu controle a partir de indicadores, do treinamento da mão de obra e da melhoria contínua do processo em si. Já os clientes ficarão satisfeitos porque os produtos e os processos produtivos deverão ser desenvolvidos com base na sua real necessidade. (MAEKAWA; CARVALHO; OLIVEIRA, 2013).

2.5.2 International Automotive Task Force - IATF 16949:2016

A IATF (International Automotive Task Force) é um grupo formado por fabricantes da indústria automotiva — BMW, Daimler AG, Fiat, Ford Motor Company, General Motors Company, Grupo PSA, Renault, Volkswagen AG — e as suas correspondentes associações comerciais — AIAG (EUA), ANFIA (Itália), FIEV (França), SMMT (RU) e VDA (Alemanha), com a finalidade de fornecer produtos de melhor qualidade para seus diversos clientes automotivos no mundo.

De modo mais específico, os propósitos da IATF são (IATF Global Oversight, 2017):

- a) Desenvolver um consenso em relação aos requisitos internacionais de sistemas de qualidade fundamentais, principalmente para os fornecedores diretos das empresas participantes de materiais de produção, peças de produtos ou serviços, ou serviços de acabamento (por exemplo, tratamento térmico, pintura e revestimento). Esses requisitos também estarão disponíveis para outras partes interessadas na indústria automotiva;
- b) Desenvolver políticas e procedimentos para o esquema comum de registro de terceiros do IATF para assegurar a consistência em todo o mundo;
- c) Fornecer treinamento apropriado para apoiar os requisitos do IATF 16949 e o esquema de registro do IATF.
- d) Estabelecer ligações formais com órgãos apropriados para apoiar os objetivos da IATF.

A Norma IATF 16949, juntamente com os requisitos específicos de clientes automotivo aplicáveis, ISO 9001:2015 e ISO 9000:2015 definem o sistema de gestão da qualidade para organizações de produção automotiva (IATF, 2016).

2.5.2.1 Plano de controle

Os clientes da empresa têm a possibilidade de definir alguns parâmetros de qualidade para as peças solicitadas. A definição dos parâmetros está relacionada com o projeto do cliente. Dentro da empresa o projeto é avaliado pelo setor de engenharia/qualidade. Nessa etapa do processo é definido o plano de controle.

Segundo a IATF (2016) o plano de controle é uma documentação das características de produto / processo, controles de processo, testes e sistemas de medição que ocorrem durante a linha de produção. A aprovação do plano de controle requer a identificação dos parâmetros críticos e as metodologias para sua medição.

A IATF (2016) determina uma série de elementos que devem ser incluídos no plano de controle. Para o objetivo do trabalho serão demonstrados o seguinte:

- a) Nome do processo / operação;
- b) Características críticas (ou especiais) relacionadas ao produto;
- c) Identificação da característica;
- d) Técnica de avaliação da medição;
- e) Especificação / tolerância da característica.

2.5.2.1.1 Característica crítica

Segundo IATF (2016) característica crítica (ou especial) é uma classificação de uma característica de produto ou parâmetro do processo de manufatura que pode afetar a segurança ou a conformidade com os regulamentos, ajuste, função, desempenho, requisitos ou processamento subsequente do produto

2.6 AIAG

A AIAG (*Automotive Industry Action Group*) é uma associação sem fins lucrativos formada por profissionais de diversas empresas automotivas com o objetivo de agilizar os processos da indústria, por meio, do desenvolvimento global de padrões e práticas comerciais harmonizadas.

Foi fundada em 1982 pelas empresas Chrysler, Ford e General Motors inicialmente com o intuito de desenvolver recomendações e uma estrutura para a melhoria da qualidade na indústria automotiva norte-americana. Posteriormente, incluiu empresas japonesas como Toyota, Honda e Nissan.

Atualmente, publica os padrões da indústria automotiva e oferece conferências educacionais e treinamento para seus membros, incluindo os padrões avançados de qualidade de planejamento de qualidade do produto (APQP), processo de aprovação de peças de produção (PPAP), Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA), Controle Estatístico de Processo (SPC) e Análise de Sistema de Medição (MSA).

2.6.1 MSA – Análise de Sistemas de Medição

O *Measurement Systems Analysis* (MSA) se conecta a dados de medição que são usados em quase todos os processos de fabricação. À medida que a qualidade dos dados melhora, a qualidade das decisões melhora. O resultado é um conhecimento que pode ser usado para melhorar seu processo de medição, melhorando, por sua vez, a qualidade repetitiva do produto (AIAG, 2010).

O propósito deste manual é apresentar diretrizes para avaliação da qualidade de um sistema de medição. Embora as diretrizes sejam geralmente suficientes para serem usadas em qualquer sistema de medição, elas destinam-se principalmente aos sistemas de medição utilizados no âmbito industrial (AIAG, 2010).

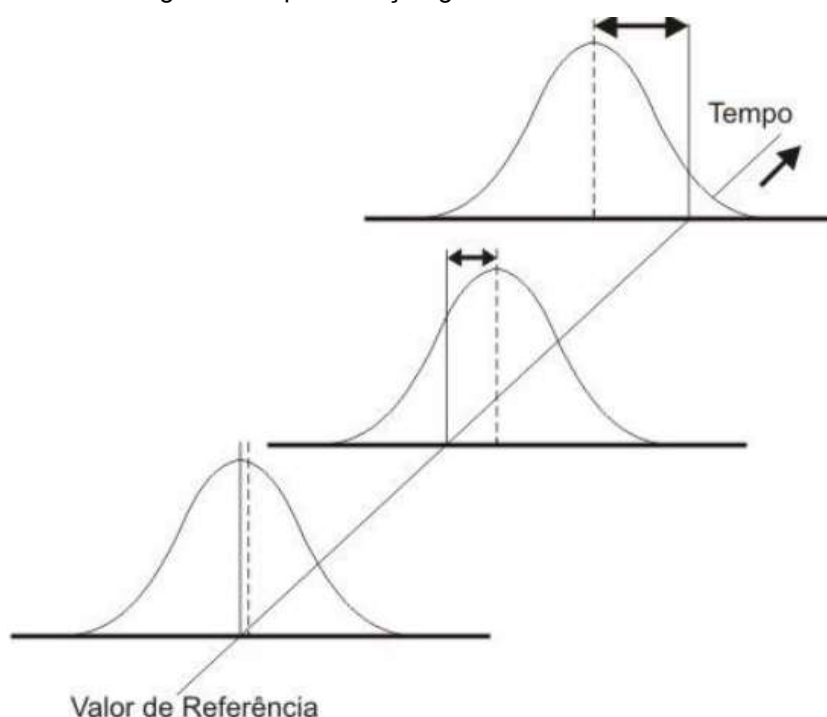
A definição da qualidade dos dados é também definida pela IATF (2016): A qualidade dos dados na medição é definida pelas propriedades estatísticas das múltiplas medições de um sistema de medição operando sob condições estáveis.

Há 4 tipos de estudos de MSA: R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade), Estabilidade, Tendência, Linearidade.

2.6.1.1 Estabilidade

A Estabilidade, também denominada de Deslocamento Lento e Gradual, pode ser determinada como a variação total nas medições resultantes de um sistema de medição aplicado sobre o mesmo padrão mestre ou peças ao medir uma mesma característica no decorrer de um extenso período de tempo, ou seja, é a variação da tendência ao longo do tempo, conforme Figura 2:

Figura 2: Representação gráfica da estabilidade

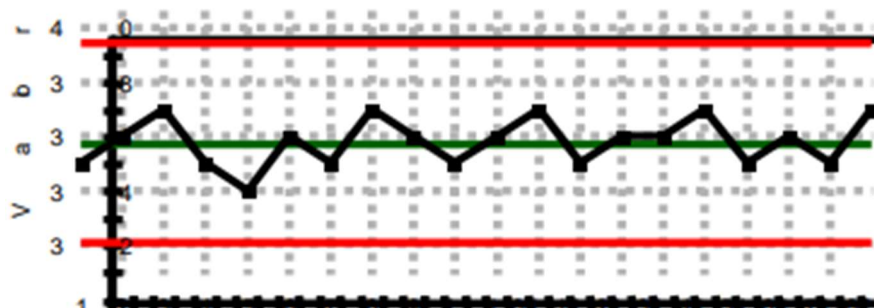


Fonte: Adaptado de AIAG, 2010

Como trata-se da mesma peça, as leituras deveriam ser sempre as mesmas, mas isso não acontece, devido à variabilidade no próprio sistema de medição. Se houver problemas no sistema de medição isso irá aparecer como um ponto fora dos

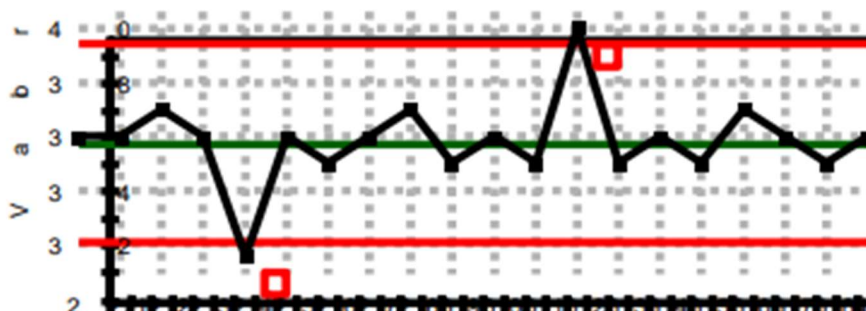
limites de controle (MENEZES, 2013). Podemos ver nas figuras 3 e 4 a seguir, o exemplo de uma estabilidade com e sem problemas.

Figura 3: Boa estabilidade



Fonte: MENEZES, 2013

Figura 4: Problemas de estabilidade



Fonte: MENEZES, 2013

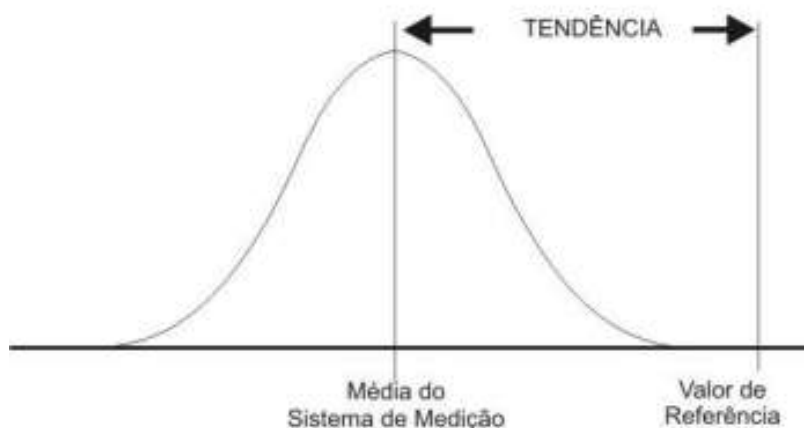
2.6.1.2 Tendência

Conforme o AIAG (2010) a tendência é a diferença entre o valor verdadeiro (valor de referência) e a média observada das medições numa característica numa mesma peça. A tendência é a medida do erro sistemático de um sistema de medição. É a contribuição para o erro total, composta dos efeitos combinados de todas as fontes de variação, conhecidas ou desconhecidas, do qual as contribuições do erro total tendem a compensar consistentemente e previsivelmente todos os resultados de aplicações repetidas de um mesmo processo de medição na ocasião.

O estudo de tendência é aplicado nos casos em que haja a necessidade de se conhecer qual o erro sistemático do sistema de medição, ou seja, conhecer o quão longe estão os valores apresentados pelo sistema do valor verdadeiro real (Cercal et al, 2009).

A figura 5 é a representação gráfica da tendência:

Figura 5: Representação gráfica da tendência



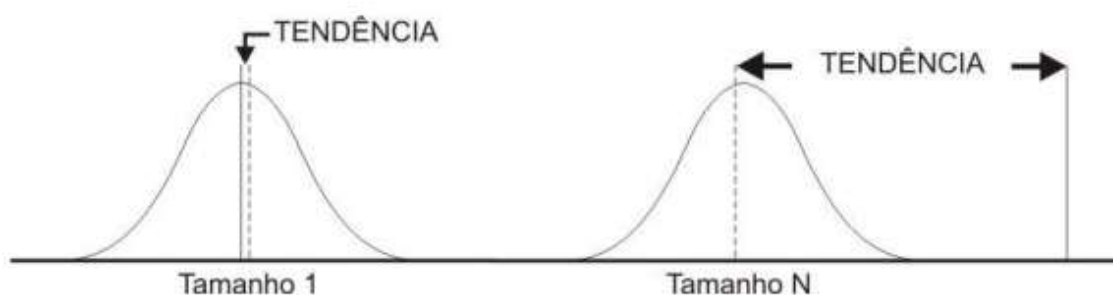
Fonte: Adaptado de AIAG, 2010

2.6.1.3 Linearidade

Linearidade é a diferença de tendência ao longo do intervalo de operação esperado (medição) no equipamento, pode ser imaginada como a variação da tendência com respeito ao tamanho (AIAG, 2010).

Segundo Cercal et al (2009), linearidade é a tendência ao longo da faixa de operação do sistema de medição, pois não passa de um estudo das tendências de variados pontos do sistema de medição. Nos casos em que for aplicada a linearidade, não se torna necessário a aplicação do estudo de tendência.

Figura 6: Representação gráfica da linearidade



Fonte: Adaptado de AIAG, 2010

Outras definições para linearidade segundo AIAG (2010), seria uma mudança de tendência ao longo da faixa de operação normal, correlação dos múltiplos e

independentes erros de tendência na faixa de operação ou erro sistemático que faz parte do sistema de medição.

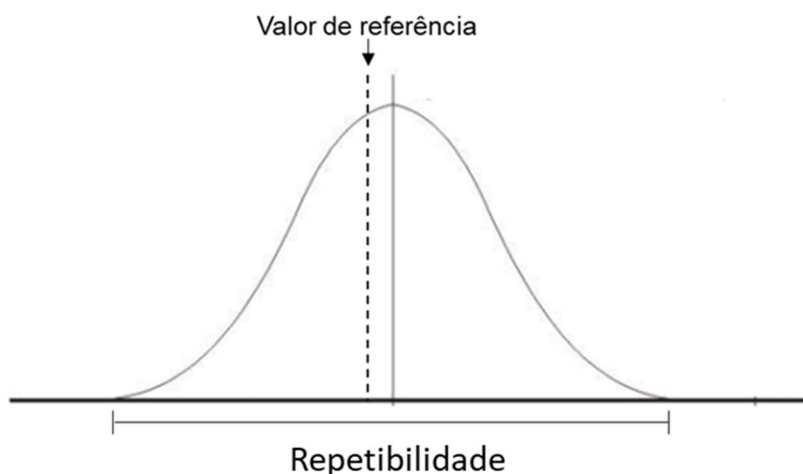
2.6.1.4 Repetibilidade

Nesse trabalho o termo “repetitividade” foi utilizado, apesar de ter sido alterado para “repetibilidade”, pois o manual utilizado neste trabalho está abordando dessa maneira, sendo de conhecimento do autor que ambos os casos têm a mesma definição.

Repetitividade, comumente referida como V.E. (Variação do Equipamento) é a variação entre medições obtidas com um mesmo instrumento quando usado várias vezes por um mesmo avaliador ao medir uma característica específica da peça (AIAG, 2010). O VIM (2012) complementa definindo que deve ser utilizado o mesmo procedimento de medição, o mesmo sistema de medição, as mesmas condições de operação e o mesmo local.

A repetibilidade é definida como a variabilidade dos dados produzidos por um único operador usando um único instrumento e medindo repetidamente uma única peça (GARCÍA, 2013).

Figura 7: Representação gráfica da repetibilidade



Fonte: Adaptado de AIAG, 2010

Para Cercal et al (2009) repetibilidade é a variação inerente do sistema, quando não influenciado por causas especiais.

A repetibilidade tem algumas condições: o procedimento de medição, o observador, o instrumento de medição sob as mesmas condições e o local devem ser os mesmos e as repetições devem acontecer dentro de um curto período de tempo (TAYLOR & KUYATT, 1994)

2.6.1.5 Reprodutibilidade

A reprodutibilidade, comumente referida como V.A. (Variação do Avaliador) é a variação entre médias das medições feitas por diferentes avaliadores, utilizando o mesmo dispositivo de medição, enquanto medindo uma característica de uma peça (AIAG, 2010).

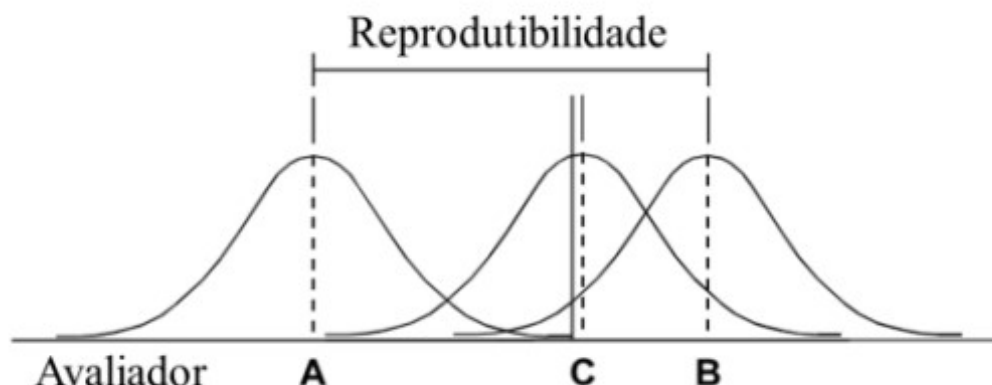
Segundo Cercal et al (2009) reprodutibilidade é a variação da repetitividade entre operadores, essencial para o desempenho do sistema, pois na prática temos vários operadores em um mesmo sistema de medição.

A reprodutibilidade influenciará apenas instrumentos manuais que dependem da habilidade do operador, já que nos sistemas automáticos de medição, o operador não será a maior fonte de variação. Por esta razão que a reprodutibilidade é denominada como variação média entre sistemas, ou entre condições de medição. (AIAG, 2010).

A reprodutibilidade é causada pela presença no sistema de diferentes avaliadores, sendo assim um sistema com apenas um avaliador não terá problemas de reprodutibilidade (García, 2013).

A representação gráfica da reprodutibilidade pode ser vista na figura 8 abaixo:

Figura 8: Representação gráfica da reprodutibilidade



Fonte: AIAG, 2010

2.7 REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE (R&R) DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO.

O 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 (AIAG, 2010).

Dois aspectos são importantes para assegurar o controle estatístico da qualidade em um processo de medição: a capacidade do medidor e a capacidade do sistema de inspeção (MONTGOMERY, 2016).

Mais especificamente de acordo com Barbosa (2014) em estudos do parâmetro R&R a variabilidade total (σ_{Total}^2) pode ser decomposta como (2):

$$\sigma_{\text{Total}}^2 = \sigma_{\text{Peça}}^2 + \sigma_{\text{Erro de Medição}}^2 \quad (2)$$

Em que $\sigma_{\text{Peça}}$ ou VP (Variação do Processo) é a variabilidade inerente às peças avaliadas (variabilidade natural) e $\sigma_{\text{Erro de Medição}}$ é a variabilidade associada aos erros de medição, sendo $\sigma_{\text{Erro de Medição}}^2$ conforme equação (3):

$$\sigma_{\text{Erro de Medição}}^2 = \sigma_{\text{Repetitividade}}^2 + \sigma_{\text{Reprodutibilidade}}^2 \quad (3)$$

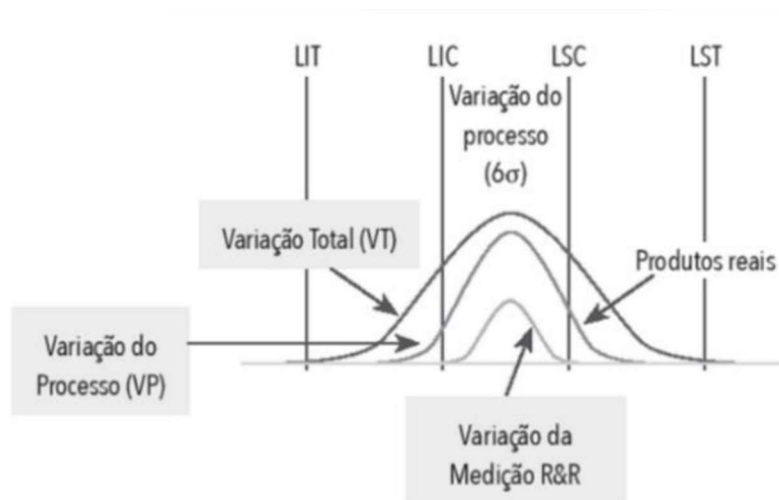
Segundo AIAG (2010) a variação do sistema de medição pela repetitividade e reprodutibilidade (R&R) é a raiz quadrada da soma do quadrado da variação do

equipamento (ou Reprodutibilidade) com a soma do quadrado da variação entre avaliadores (Repetitividade), conforme equação (4):

$$R\&R = \sqrt{(VE)^2 + (VA)^2} = \sigma_{\text{Erro de Medição}} \quad (4)$$

A Figura 9 apresenta graficamente a relação entre a variação de dispersão do sistema de medição (R&R), a variação do processo (VP) e a variação total (VT), em relação aos limites superior e inferior de tolerância e de controle.

Figura 9: Componentes da variação total (VT)



Fonte: ALBERTAZZI e SOUSA, 2018

2.7.1 Critérios de aceitação

Nessa seção foram definidos todos os critérios de aprovação do sistema de medição de acordo com o manual MSA.

2.7.1.1 Porcentagem R&R

De acordo com Garcia e del Río (2013), %R&R é a porcentagem da variabilidade total resultante do sistema de medição, conforme equação (5):

$$\%R\&R = 100 \left[\frac{\sigma_{\text{Erro de medição}}}{\sigma_{\text{Total}}} \right] = 100 [R\&R / VT] \quad (5)$$

Segundo AIAG (2010), há uma regra prática para aceitação dos sistemas de medição, que trata da porcentagem do R&R, comumente referido como GRR ou %R&R, conforme tabela 1:

Tabela 1: Critério de R&R

R&R	Decisão
Porcentagem menor que 10%	Geralmente Considerado um sistema de medição aceitável
Porcentagem entre 10% e 30%	Pode ser aceitável para algumas aplicações
Porcentagem acima de 30%	Considerado como inaceitável

Fonte: Adaptado de AIAG, 2010

2.7.1.2 Número de distintas de categorias (NDC)

Albertazzi e Sousa (2018) definem que o NDC (número de distintas categorias), avalia quantas categorias o processo de medição pode detectar dentro da variação total do processo.

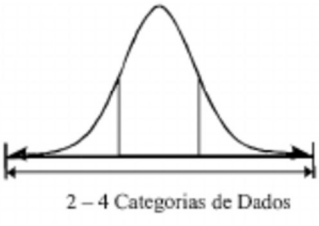
Ou seja, ao coletar os dados em uma análise de um sistema de medição, após a realização de “N” medições, encontra-se um valor para o NDC (número de distintas categorias) igual a “X”. Isso significa que esses “N” valores podem ser reunidos em “X” grupos distintos (conforme visto nos gráficos da tabela 2).

O NDC pode ser obtido pela equação (6) abaixo:

$$NDC = 1,41(VP/R\&R) = 1,41 \left(\sigma_{Peça} / \sigma_{Erro\ de\ medição} \right) \quad (6)$$

O manual MSA define o critério de aceitação para esse item conforme tabela 2:

Tabela 2: Classificação de acordo com o NDC

Quantidade de Categorias	Controle	Análise
 1 Categoria de Dados	Pode ser usada para controle somente se: • A variação do processo é pequena quando comparada com as especificações • A função perda for plana em relação à variação esperada do processo • A principal fonte de variação causa um deslocamento na média	• Inaceitável para estimar os parâmetros e os índices do processo • Apenas indica se o processo está produzindo peças conforme ou não-conforme
 2 - 4 Categorias de Dados	• Pode ser usada com técnica de controle semi-variável baseadas na distribuição do processo • Pode produzir cartas de controle por variável	• Geralmente inaceitável para estimar os parâmetros e os índices do processo, uma vez que somente fornece estimativas grosseiras
 5 ou mais Categorias de Dados	• Pode ser usada com cartas de controle por variável	• Recomendada

Fonte: Adaptado de AIAG, 2010

2.7.1.3 Relação entre R&R e NDC

Um estudo realizado por García e del Río (2013) com objetivo de demonstrar que a inclusão no manual MSA (*Measurement System Analysis*) do critério de aceitação “NDC” é redundante. O trabalho comprova que %R&R e o NDC não são independentes entre si e que existe uma relação exata entre eles. Para comprovar essa informação partimos da equação (2) para chegarmos à relação entre o %R&R e o NDC.

Conforme equação (2), utilizando a terminologia do manual MSA:

$$(VP)^2 = (VT)^2 - (R\&R)^2 \quad (7)$$

Substituindo a equação (6) na equação (7):

$$NDC^2 = 2 \frac{VT^2 - R\&R^2}{R\&R^2} \quad (8)$$

Conforme equação definida anteriormente (5), utilizando a terminologia do manual MSA:

$$\%R\&R = 100 \frac{R\&R}{VT}$$

Substituindo a equação 5 na equação 8:

$$NDC^2 = 2 \left(\frac{10000}{\%R\&R^2} - 1 \right) \quad (9)$$

$$NDC = \sqrt{2} \sqrt{\frac{10000}{\%R\&R^2} - 1} \quad (10)$$

Segundo García e del Río (2013), a relação entre %R&R e NDC será conforme tabela 3:

Tabela 3: Relação entre %R&R e NDC

% R&R	NDC
5	28
10	14
15	9
20	7
25	6
27	5
30	5
40	3
50	2

Fonte: Adaptado de GARCÍA e DEL RÍO, 2013

Resumindo, o NDC não agrega muita informação ao resultado, já que não há como ter um %R&R fora do especificado com um NDC dentro do especificado (de acordo com os limites de aceitação estabelecidos), tornando esse critério redundante.

2.7.2 Técnicas do estudo dos dispositivos de medição

Consoante Barbosa et al (Apud MONTGOMERY, 2009; RIBEIRO JUNIOR, 2012) uma forma de se avaliar um sistema de medição é por meio do estudo do parâmetro R&R, um índice utilizado para verificar a adequabilidade do mesmo

(sistema de medição) e que pode ser determinado de 2 maneiras: (a) por meio do método da média e amplitude (via gráficos de controle $\bar{X}$ e R) e (b) pelo método da Análise de Variâncias (ANOVA) com efeitos aleatórios.

Segundo AIAG (2010, p. 101) o estudo dos Dispositivos de Medição por variáveis pode ser realizado por três métodos aceitáveis:

- a) Método da Amplitude
- b) Método da Média e Amplitude (incluindo o método da Carta de Controle)
- c) Método ANOVA

2.7.2.1 Método da Amplitude

Um meio para obter a aproximação rápida da variabilidade das medições é o método da amplitude. Esse não apresenta um desempenho adequado, sendo utilizado apenas para obter uma análise geral do sistema, pois não decompõe a variabilidade em repetitividade e reprodutibilidade (AIAG, 2010).

Ainda segundo AIAG (2010) o método da amplitude geralmente utiliza dois avaliadores e cinco peças para o estudo, sendo a peça medida apenas uma única vez. A amplitude para cada peça é a diferença absoluta entre as medições obtidas entre os dois avaliadores. As amplitudes são somadas e a amplitude média ($\bar{R}$) é calculada. A variabilidade total das medições é encontrada pela multiplicação da amplitude média por $\frac{1}{d_2^*}$ onde d_2^* é obtido no Apêndice C, com m=2 e g=número de peças.

O método da amplitude pode ser exemplificado nas equações 11, 12 e 13 abaixo:

$$(\bar{R}) = \frac{\sum R_i}{5} \quad (11)$$

$$R\&R = \left(\frac{\bar{R}}{d_2^*} \right) \quad (12)$$

$$\%R\&R = 100 * \left(\frac{R\&R}{desvio_padr\tilde{a}o} \right) \quad (13)$$

2.7.2.2 Método da Média e Amplitude

O método da Média e Amplitude ($\bar{X}$ & R) é uma abordagem que fornece uma estimativa da repetitividade e da reprodutibilidade de um sistema de medição. No

entanto a variação devido a interação entre o avaliador e a peça/dispositivo de medição não é calculada por esta análise (AIAG, 2010).

Já segundo Albertazzi e Sousa (2018), a média e amplitude é um método matematicamente prático de aplicação, que não determina a interação entre peças e operadores apesar de decompor a variabilidade do processo de medição em Repetitividade e Reprodutibilidade.

2.7.2.3 Método da Análise de Variância (ANOVA)

O método da análise de variância foi desenvolvido por Ronald Aylmer Fisher que permite comparar as médias de várias amostras de forma simultânea. Para que isso seja possível as amostras devem ser obtidas de forma aleatória e serem independentes (CASTANHEIRA, 2012).

Complementando, Filho (2009) descreve que a análise de variância visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente.

Em outras palavras, a AIAG (2010) define a análise de variância como uma técnica estatística padrão que pode ser utilizada para analisar o erro de medição e outras fontes de variabilidade dos dados em um estudo de sistema de medição (AIAG, 2010).

Conforme MELO et al (2016) o Método da Análise de Variância (ANOVA) é considerado mais completo quando comparado com o Método da Média e Amplitude, pois fornece a interação entre os fatores de interesse, trata qualquer estrutura de um experimento e estima as variâncias mais precisamente.

Ressalta-se que a escolha do método da Análise de Variâncias, em relação ao da média e amplitude, pode ser justificada devido ao fato da ANOVA permitir tratar diversas estruturas de experimentos, estimar a variância com mais exatidão e precisão, além de possibilitar a avaliação da interação entre os fatores de interesse (BARBOSA et al, 2014).

O fator de significância encontrado pelo método ANOVA sintetiza o resultado final da análise de variância do problema, fornecendo a probabilidade de errar ao

afirmar que a respectiva fonte de variação ou interação tem impacto significativo sobre a variância do processo. (ALBERTAZZI; SOUSA, 2018).

Para se obter maiores detalhes sobre a metodologia de cálculo do método ANOVA é possível consultar o Manual de MSA e o Manual VDA 5 em suas últimas edições, Elementary statistics: a step by step approach (8ª edição), Como fazer experimentos (4ª edição) ou Fundamentos de metrologia científica e industrial (5ª edição).

2.8 ANÁLISE GRÁFICA

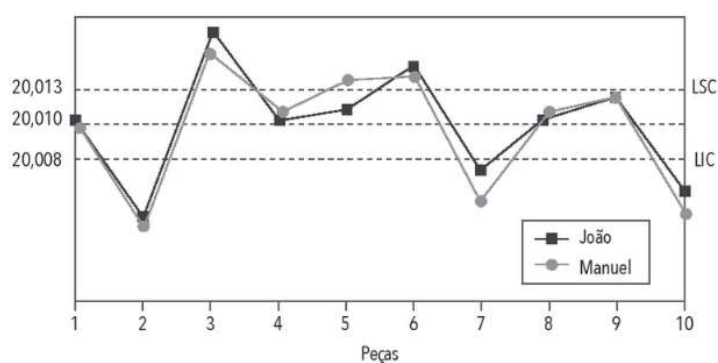
Nessa seção foram abordadas algumas análises gráficas necessárias para o melhor entendimento dos resultados.

2.8.1 Carta de médias

Carta de Médias são calculados baseados na repetibilidade do processo de medição, no qual não considera a variabilidade do processo produtivo. Portanto é fundamental a existência de pontos fora dos limites de controle, pois indica que a variabilidade do sistema de medição é menor do que a variabilidade do processo produtivo. Isso configura que o sistema está aceitável para analisar o processo produtivo (ALBERTAZZI; SOUSA, 2018).

Um exemplo de que demonstra uma carta de média aceitável (com pontos fora dos limites de controle) pode ser visto na figura 10 abaixo:

Figura 10: Carta de média aceitável

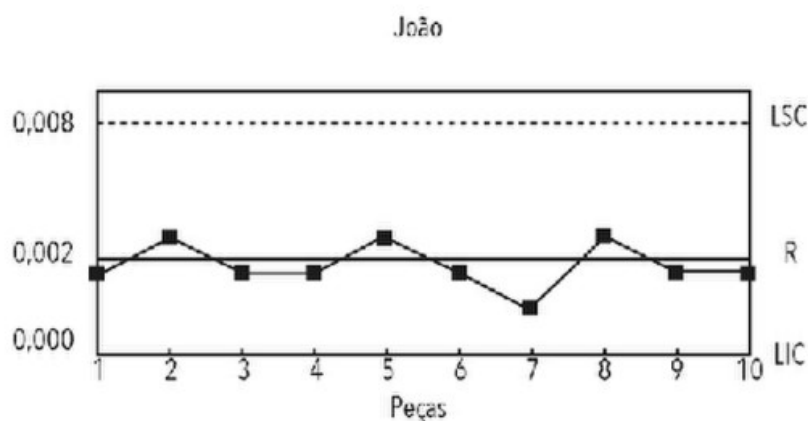


Fonte: ALBERTAZZI e SOUSA, 2018

2.8.2 Carta de amplitudes

Para AIAG (2010) a carta de controle de amplitudes é utilizada para verificar se um processo está sob controle. É feita ao plotar as amplitudes das múltiplas leituras feitas por cada avaliador sobre cada peça, com marcações de amplitude média e os limites de controle, conforme figura 11 abaixo:

Figura 11: Carta de amplitude



Fonte: ALBERTAZZI e SOUSA, 2018

Avaliando a Carta de amplitudes o processo de medição pode ser considerado sob controle e com boa estabilidade se não houver sinais de instabilidade, como pontos fora do limite de controle ou tendências (ALBERTAZZI; SOUSA, 2018).

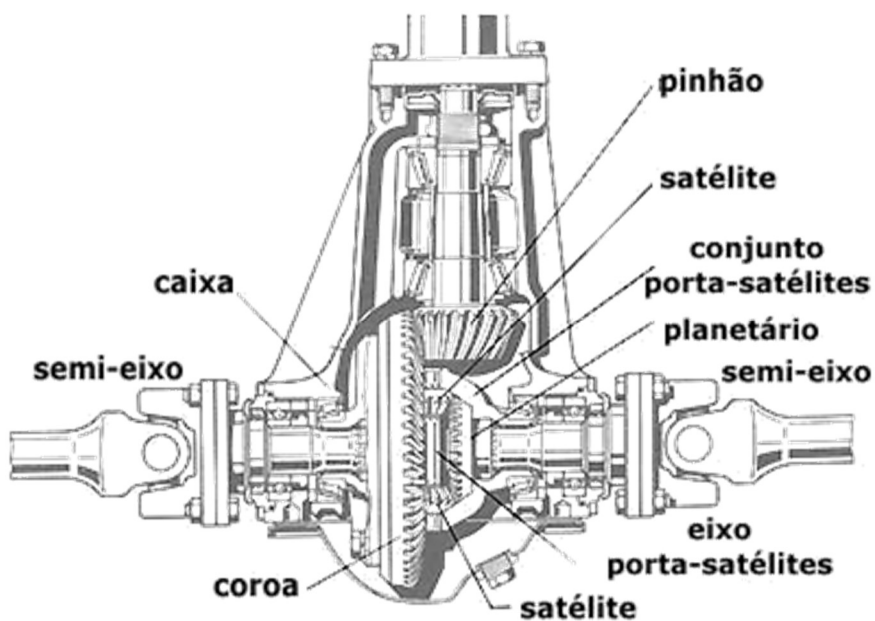
2.9 CONJUNTO DIFERENCIAL

Quando um veículo composto por quatro rodas realiza uma curva, inevitavelmente realizará percursos diferentes entre as rodas esquerda e direita, sendo o percurso das duas em forma de circunferência, mas de comprimentos diferentes (FIAT, 2008).

É preferível, em geral, a utilização de engrenagens cônicas nos conjuntos diferenciais, pois têm como função alteração na rotação e direção do eixo. Tais engrenagens estabelecem o equilíbrio de torque entre a roda direita e a roda esquerda (BOSH, 2018).

A engrenagem utilizada neste trabalho faz parte do conjunto diferencial, é a engrenagem satélite, como pode ser visto na figura 12 abaixo:

Figura 12: Componentes do conjunto diferencial



Fonte: POYDO, 2019

O motor dos carros transmite seu movimento através do câmbio de marchas ao eixo de transmissão, que faz girar a coroa. As engrenagens satélites, que são engrenagens cônicas, são solidárias a coroa e só atuam quando é necessária uma compensação na velocidade das rodas (esquerda e direita), como em uma curva (FIAT,2008).

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho é distribuída de maneira a abordar o procedimento experimental contendo as etapas de coleta das amostras de peças da linha de produção, identificação dos parâmetros das peças que serão analisados nesta pesquisa, os sistemas de medição e técnicas que podem ser utilizadas para realizar as medições.

3.1 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Nessa seção foi definido como o estudo será realizado, conforme as delimitações a ele estabelecidas.

3.1.1 Exigências dos clientes

Neste trabalho é feito o estudo de MSA em peças de linha de produção destinadas a uma montadora de automóveis. Foi utilizada a engrenagem satélite do conjunto diferencial como objeto de estudo. Essa peça tem um volume fabril de aproximadamente 1000 unidades por mês.

O cliente solicitante das engrenagens satélites do conjunto diferencial requer em seus manuais que os parâmetros sejam obedecidos na fabricação dos itens.

Alguns desses manuais adotam como ferramenta de análise de qualidade o sistema MSA, especificando o método R&R. O método R&R deve ser aplicado em peças e componentes de acordo com o manual mais recente da AIAG.

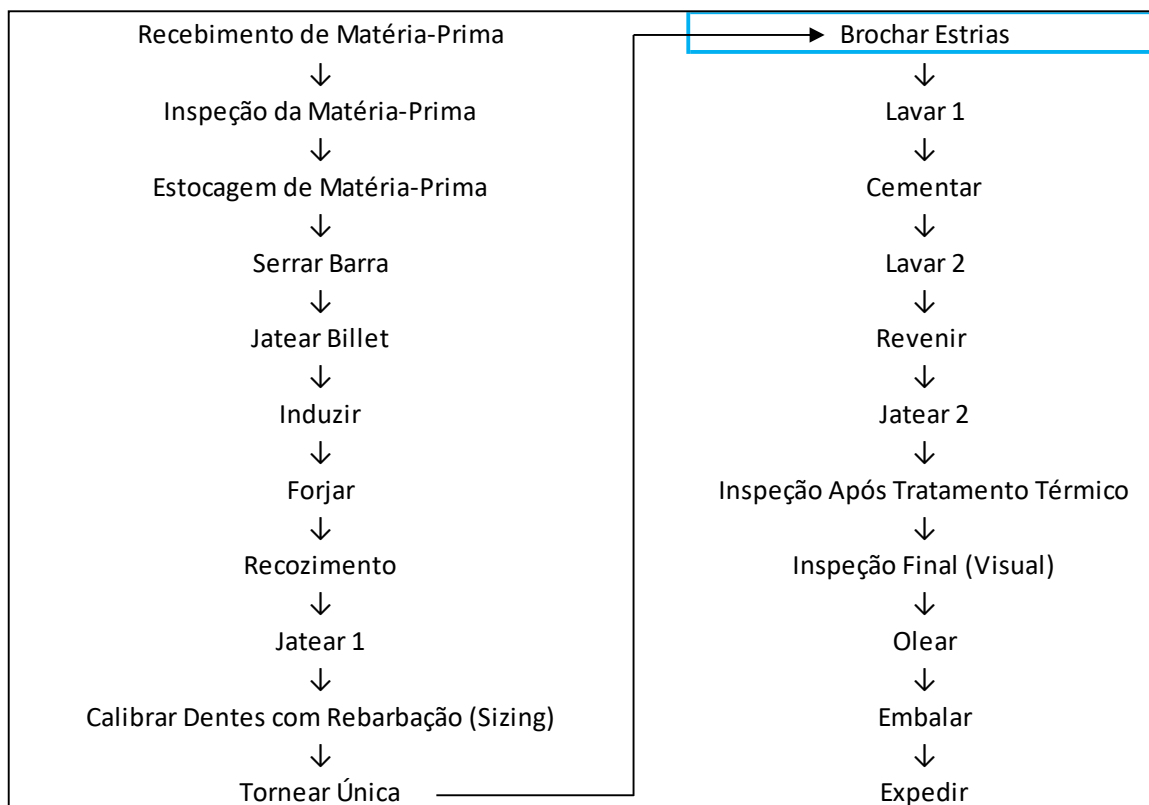
Para conduzir o método R&R no sistema proposto foi necessário avaliar o que o manual do cliente especifica. Neste caso as especificações são: avaliar no mínimo dez peças, com três operadores capacitados que irão realizar três medições em cada peça selecionada.

3.1.2 Identificação da Etapa do Processo Objeto dos Estudos

Primeiramente foi definida a etapa do processo de onde seriam removidas as amostras do trabalho. A coleta das amostras foi realizada logo após o processo de

brochamento de estrias. Esse momento foi selecionado em função de se tratar da última etapa da linha de produção que faz remoção de material da peça (como pode ser visto no fluxograma na tabela 4), permitindo que as dimensões sejam mais próximas das do desenho final definido pelo cliente.

Tabela 4: Fluxo da peça na linha de produção



Fonte: O autor, 2019

Além disso, nenhuma operação conseguinte tem características críticas definidas em suas operações, tornando inviável o estudo nesses casos, já que a priorização dos estudos se dá justamente nessas ocasiões.

Uma outra possível escolha de operação poderia ser a inspeção final, pois as mesmas características analisadas na operação de brochamento de estrias são verificadas, conforme tabela 5. Mas na inspeção final as características têm tolerância maiores devido as operações de tratamento térmico e superficial (cementação e revenimento) presentes entre essas duas operações, não são definidas como críticas portanto tal operação foi descartada.

Tabela 5: plano de controle das características críticas na operação de brochamento de estrias

Operação	Letra	Controle de Importância	Característica	Instrumento de medição	Tolerância
Brochamento de Estrias	D	Crítica ($\emptyset$)	Excentricidade da cavidade dos dentes em relação ao furo	Mandril cônico e relógio	0,06mm Máx.
	E	Crítica ($\emptyset$)	Excentricidade da calota em relação ao furo	Mandril cônico e relógio	0,03mm Máx.
Inspeção final	D	Característica significativa	Excentricidade da cavidade dos dentes em relação ao furo	Mandril cônico e relógio	0,08mm Máx.
	E	Característica significativa	Excentricidade da calota em relação ao furo	Mandril cônico e relógio	0,06mm Máx.

Fonte: O autor, 2019

3.1.2.1 Brochamento de Estrias

A operação de brochamento de estrias cria uma área dentada no diâmetro interno do furo, conforme demonstrado nas figuras 13 abaixo:

Figura 13: Engrenagem satélite do diferencial antes e após operação de brochamento de estrias



Fonte: O autor, 2019

3.1.3 Definição das características críticas

Como pode ser visto no plano de controle definido na tabela 6 abaixo, o mesmo apresenta nome do processo / operação, definição da característica, identificação de características críticas relacionadas ao produto, técnicas de avaliação da medição e especificação / tolerância da característica.

As características críticas são identificadas pela simbologia “Ø”.

Tabela 6: plano de controle para características críticas na operação de brochamento de estrias

Operação	Letra	Controle de Importância	Característica	Instrumento de medição	Tolerância
Brochamento de Estrias	D	Crítica (Ø)	Excentricidade da cavidade dos dentes em relação ao furo	Mandril cônico e relógio	0,06mm Máx.
	E	Crítica (Ø)	Excentricidade da calota em relação ao furo	Mandril cônico e relógio	0,03mm Máx.

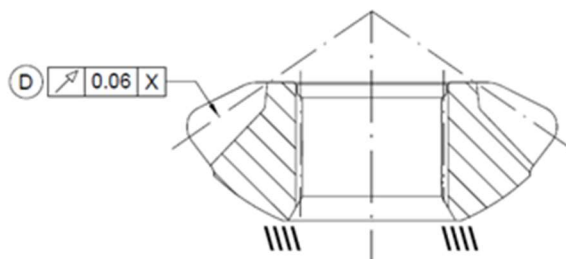
Fonte: O autor, 2019

3.1.4 Identificação do sistema de medição

A engrenagem satélite do diferencial é um tipo de engrenagem cônica. Neste trabalho foi medida a excentricidade das cavidades dos dentes da engrenagem em relação ao centro da peça. Para foi utilizado um relógio comparador, com resolução 0,001 mm, que deve entrar em contato com cada uma das cavidades dos dentes da engrenagem. A excentricidade é dada pela diferença entre o maior valor medido e o menor valor medido.

Essa característica é referenciada como “batimento do furo”. A figura 14 exhibe o desenho e parâmetros da engrenagem em estudo.

Figura 14: Engrenagem Satélite do Diferencial: Batimento do furo



Fonte: Desenho do cliente, 2018

Para a medição dessa característica, foram utilizados o relógio comparador e um mandril. O relógio comparador deve estar em contato com a cavidade da engrenagem cônica que está fixada ao mandril. O mandril faz a rotação da peça para que seja possível medir todas as cavidades. A figura 15 ilustra esse procedimento.

Figura 15: Método de medição do batimento do furo

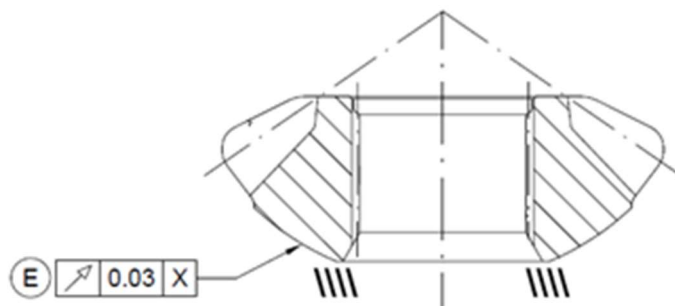


Fonte: O autor, 2019

A variação máxima entre todos vãos não deve ser superior a 0,06mm (conforme definido no plano de controle).

A característica “excentricidade da calota” em relação ao furo é definida na figura 16. Essa característica é tratada neste trabalho como “batimento da calota”.

Figura 16: Engrenagem Satélite do Diferencial: Batimento da calota



Fonte: Desenho do cliente, 2018

A “calota” é a superfície inferior da engrenagem, indicada na figura 16 acima pelo datum “E”, e terá a mesma tratativa da anterior para o mandril cilíndrico. Já o relógio comparador ficará posicionado conforme indicado na figura 17.

Figura 17: Método de medição do batimento da calota



Fonte: O autor, 2019

Para o caso da calota, a variação máxima permitida é de 0,03mm (conforme definido no plano de controle).

O relógio comparador usado nas medições estava em perfeitas condições de uso e sua calibração é realizada periodicamente pela própria empresa, que possui um laboratório de metrologia capaz de calibrar os instrumentos usados na planta. A figura 18 mostra o relógio comparador usado nas medições realizadas.

Figura 18: Relógio comparador com resolução de 0,001mm



Fonte: O autor, 2019

3.1.5 Seleção das peças

As peças foram selecionadas aleatoriamente após a operação de brochamento de estrias. A indústria metal mecânica em questão opera em três turnos, mas o processo de brochamento de estrias acontece em dois turnos (primeiro e segundo). Com o intuito de abranger todo o intervalo do processo, as peças foram selecionadas em dias diferentes, sendo uma peça por dia e com alternância de turnos. As peças foram devidamente identificadas e numeradas para facilitar a quando fossem executadas as medições. No total foram selecionadas 10 peças para realização das medições. A figura 19 mostra o conjunto de peças selecionadas.

Figura 19: Engrenagens satélite do diferencial



Fonte: O autor, 2019

3.1.6 Definição dos avaliadores

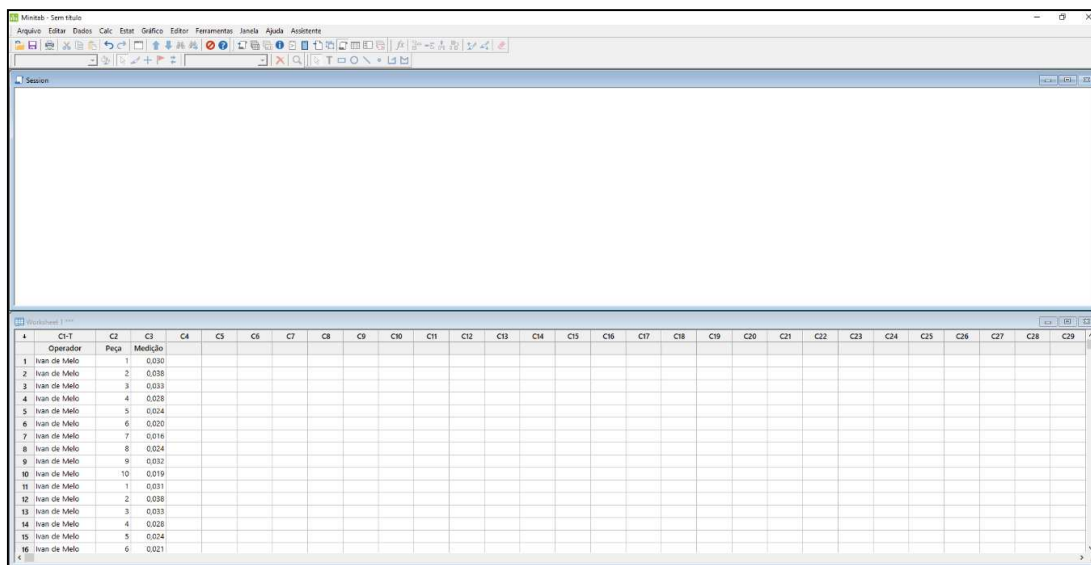
A escolha dos avaliadores, para minimizar o erro humano, foi baseada na experiência e habilidade dos funcionários envolvidos com a operação em questão. Neste trabalho foram identificados e selecionados 3 avaliadores entre os operários que, rotineiramente, realizam a operação e medição das peças brochadas. Esses avaliadores são identificados como avaliador A, B e C respectivamente.

As medições foram realizadas por cada avaliador ao longo de duas semanas para abranger melhor o intervalo do processo. Iniciando no dia 22/10/2018 (segunda-feira) e finalizando no dia 05/11/2018 (segunda-feira) totalizando 10 peças e 3 medições por peça.

3.1.7 Software utilizado na análise dos dados

O *software* utilizado para realizar a análise dos resultados é o minitab. Esse *software* permite a aplicação da análise de variância (ANOVA). Todos os dados medidos pelos operadores são inseridos no sistema na área chamada “*worksheet*”, onde são relacionados os dados do operador, identificação das peças e o resultado de cada medição. A figura 20 apresenta o “*worksheet*” do minitab.

Figura 20: Entrada de dados de medição no minitab



	C1-T	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29
	Operador	Peça	Medição																										
1	Juan de Melo	1	0.030																										
2	Juan de Melo	2	0.038																										
3	Juan de Melo	3	0.033																										
4	Juan de Melo	4	0.028																										
5	Juan de Melo	5	0.024																										
6	Juan de Melo	6	0.020																										
7	Juan de Melo	7	0.016																										
8	Juan de Melo	8	0.024																										
9	Juan de Melo	9	0.032																										
10	Juan de Melo	10	0.019																										
11	Juan de Melo	1	0.031																										
12	Juan de Melo	2	0.038																										
13	Juan de Melo	3	0.033																										
14	Juan de Melo	4	0.028																										
15	Juan de Melo	5	0.024																										
16	Juan de Melo	6	0.021																										

Fonte: Minitab 18, 2019

Com todos os dados inseridos no “worksheet”, dá-se início ao estudo de medição R&R. Para isso devem ser selecionadas quais colunas correspondem aos campos “Número de peças”, “Operadores” e “Dados de medição” e escolha do método de análise, conforme figura 21. Deve ser escolhido o método de análise selecionado anteriormente, que é o ANOVA, pois é o único que determina a interação entre peças e operadores.

Figura 21: Estudo de medição R&R pelo método ANOVA

Estudo de Medição R&R (Cruzado)

C1 Operador
C2 Peça
C3 Medição

Números de peça: Peça

Operadores: Operador

Dados da medição: Medição

Método de Análise
☒ ANOVA
☐ Xbarra e R

Selecionar

Ajuda

Informação do Estudo de Medição...
Opções...
Int de conf...
Armazenamento...

OK
Cancelar

Fonte: Minitab 18, 2019

4 RESULTADOS

Nessa seção foram apresentados todos os resultados necessários para avaliar o sistema de medição.

4.1 DADOS DAS MEDIÇÕES

Os dados adquiridos no processo experimental são apresentados nas tabelas 7 e 8. A tabela 7 mostra os resultados das medições para o batimento da calota e a tabela 8 mostra o resultado das medições para o batimento do furo.

Tabela 7: Coleta de dados de medição do batimento da calota

Data	Turno	Peça	Avaliador A			Avaliador B			Avaliador C		
22/10/2018	1º	1	0,006	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005
23/10/2018	2º	2	0,015	0,015	0,015	0,014	0,013	0,014	0,015	0,014	0,014
24/10/2018	1º	3	0,013	0,013	0,012	0,011	0,012	0,012	0,011	0,012	0,012
25/10/2018	2º	4	0,011	0,011	0,012	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011
26/10/2018	1º	5	0,017	0,017	0,018	0,016	0,017	0,016	0,016	0,017	0,017
29/10/2018	2º	6	0,006	0,007	0,006	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005
30/10/2018	1º	7	0,022	0,022	0,022	0,022	0,023	0,022	0,022	0,023	0,022
31/10/2018	2º	8	0,011	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,010
01/11/2018	1º	9	0,013	0,013	0,013	0,012	0,011	0,012	0,012	0,012	0,012
05/11/2018	2º	10	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,027	0,028	0,028	0,027

Fonte: O autor, 2019

A análise da tabela 7 mostra a variação nos resultados das medições no batimento da calota. Esses valores variam de 0,004 mm a 0,028 mm. Quando avaliamos esses valores percebemos que o sistema de medição consegue manter constantes suas características, apresentando valores com baixa variação no que diz respeito aos avaliadores. Neste sentido é possível sugerir que apesar de as peças estarem dentro dos limites de tolerância defendidos pelo plano de controle da empresa, existe variação de medidas que atingem diferenças de até 0,024mm. Esse acontecimento se repete quando avaliamos o batimento do furo, cujos resultados são apresentados na tabela 8, com valores entre 0,016mm a 0,038mm, o que representa uma diferença de até 0,022mm.

Tabela 8: Coleta de dados de medição do batimento do furo

Data	Turno	Peça	Avaliador A			Avaliador B			Avaliador C		
22/10/2018	1º	1	0,030	0,031	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
23/10/2018	2º	2	0,038	0,038	0,037	0,038	0,037	0,038	0,038	0,038	0,038
24/10/2018	1º	3	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,032
25/10/2018	2º	4	0,028	0,028	0,028	0,027	0,028	0,028	0,028	0,027	0,028
26/10/2018	1º	5	0,024	0,024	0,025	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,025
29/10/2018	2º	6	0,020	0,021	0,020	0,020	0,020	0,021	0,020	0,020	0,020
30/10/2018	1º	7	0,016	0,016	0,016	0,016	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016
31/10/2018	2º	8	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,025	0,024	0,024	0,024
01/11/2018	1º	9	0,032	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033
05/11/2018	2º	10	0,019	0,019	0,019	0,018	0,019	0,019	0,019	0,018	0,019

Fonte: O autor, 2019

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nessa seção foram avaliados todos os resultados obtidos para análise do sistema de medição.

4.2.1 Batimento da calota

As informações apresentadas na tabela 9 abaixo foram obtidas através do método de Análise de Variância através do *software* Minitab. Nesta tabela são apresentados os parâmetros: Fonte da variação (Fonte de erro de medição), GL (Graus de liberdade associados com a fonte), SQ (Soma dos quadrados, que são os desvios em torno da média da fonte), QM (Quadrado médio, que é a soma dos quadrados dividida pelos graus de liberdade), o valor da fonte e o fator P (indica a significância estatística do valor).

Tabela 9: Nível de significância para a cota batimento da calota

Fonte	GL	SQ	QM	F	P
Peça	9	0,0040167	0,0004463	1500,00	0,000
Operador	2	0,0000124	0,0000062	20,88	0,000
Peça * Operador	18	0,0000054	0,0000003	1,22	0,277
Repetitividade	60	0,0000147	0,0000002		
Total	89	0,0040910			

Fonte: Adaptado de Minitab 18, 2019

Conforme critério de significância definido no manual MSA (2010) estabelecido para indicar a interação entre os itens peça e avaliador temos que: o índice de significância da peça é considerado significativo, pois $P \leq 0,05$. O índice de

significância do avaliador também é considerado significativo ($P = 0 \leq 0,05$), mas ao avaliarmos a interação entre operador e peça percebemos que o índice de significância é considerado não significativa, pois $P = 0,277 > 0,05$. Neste caso é necessário aumentar a potência do ANOVA. Para se aumentar a potência do ANOVA é preciso aumentar o tamanho da amostra. Como o parâmetro significância estatística não é utilizado como um critério de aceitação definido no manual e nesta etapa do trabalho não é possível refazer todas as medições, deixaremos a abordagem mais aprofundada deste parâmetro para trabalhos futuros.

A tabela 10 abaixo mostra todas as fontes de variação e suas respectivas porcentagem de contribuição. A porcentagem de contribuição do R&R é a soma das porcentagens de contribuição da repetitividade e da reprodutibilidade. Já a variação total é a soma da porcentagem de contribuição do R&R e da Peça-a-peça (variação do processo produtivo). Pode ser verificado que a maior porcentagem de variação por fonte de erro de medição está relacionada a variação peça-a-peça, que é a variação das peças em relação ao processo produtivo, representando 99,09% da variação total. Para um sistema ser aceitável a maior fonte de variação deve ser a variação peça-a-peça, que é o caso em estudo. A repetitividade e a reprodutibilidade somadas (Total R&R) estão representando 0,91% da variação total, o que é bastante inferior se comparado com a variação peça-a-peça, o que indica que o resultado está adequado.

Tabela 10: Componente de variância e porcentagem de contribuição para a cota batimento da calota

Fonte	Componente de Variância (CompVar)	% Contribuição (CompVar)
Total R&R	0,0000005	0,91%
Repetitividade	0,0000003	0,51%
Reprodutibilidade	0,0000002	0,40%
Peça-a-peça	0,0000496	99,09%
Variação total	0,0000500	100,00%

Fonte: Adaptado de Minitab 18, 2019

Na tabela 11 pode-se ver o desvio padrão e porcentagem de variação do estudo por fonte de variação. Na porcentagem de variação do estudo está contido um dos critérios de aprovação, que é a %R&R, que deve ser avaliado. Nesse caso foi obtido o resultado de 9,54%, o que configura um sistema de medição aceitável (abaixo de 10%). O resultado é obtido pela variação do estudo da fonte em relação a variação total multiplicado por 100 e por esse motivo os valores de %VE não somam 100%.

Tabela 11: Desvio padrão e porcentagem de variação para a cota batimento da calota

Fonte	Desvio Padrão (DP)	Variação do estudo (6 x DP)	% Variação do estudo (%VE)
Total R&R	0,0006747	0,0040480	9,54%
Repetitividade	0,0005067	0,0030399	7,16%
Reprodutibilidade	0,0004455	0,0026731	6,30%
Peça-a-peça	0,0070399	0,0422394	99,54%
Variação total	0,0070721	0,0424329	100,00%

Fonte: Adaptado de Minitab 18, 2019

Outro detalhe que pode ser avaliado é a comparação entre a porcentagem de variação do estudo da repetitividade com a reprodutibilidade. Neste estudo o percentual de repetitividade é maior que o de reprodutibilidade ($7,16\% > 6,30\%$). Essa condição seria levada em consideração se o sistema de medição tivesse sido reprovado. Para essa situação o manual AIAG (2010) aborda os seguintes fatores como possíveis causas: o instrumento de medição necessita de manutenção; o dispositivo de medição pode requerer ser re-projetado para ser mais rígido; o aperto ou localização da peça no dispositivo de medição requerem melhoria ou há excessiva variação na mesma peça.

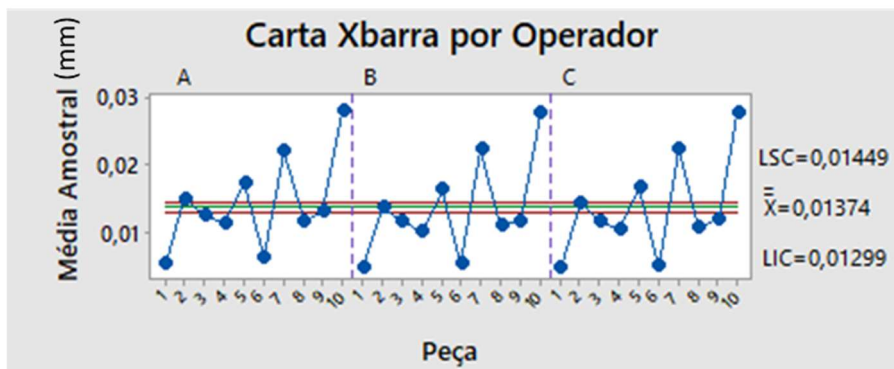
O NDC é outro critério de aprovação do sistema de medição. Seu cálculo é realizado usando a equação 6 da seção de revisão bibliográfica. O Minitab realiza o cálculo deste parâmetro durante a execução da metodologia ANOVA. Para os cálculos do batimento da calota o NDC é igual a 14. Esse valor é superior ao número mínimo exigido para o estudo ($NDC \geq 5$).

A figura 22 mostra a cartas de médias para os três avaliadores. Neste gráfico se visualiza as médias das leituras de cada peça para facilitar a análise do comportamento das medições entre os avaliadores. Os resultados mostram que esse comportamento é semelhante e isso é um indicador de que todas as medições foram realizadas dentro do procedimento definido.

Segundo a AIAG, mais da metade das leituras devem ficar fora dos limites de controle estabelecidos. Essa condição está relacionada a repetitividade e isso indica que o sistema apresenta maior variação no processo produtivo do que na variação no equipamento ou entre avaliadores. A figura 22 mostra os resultados de medição fora dos limites de controle, ou seja, o processo de fabricação das engrenagens satélites

para o batimento do furo apresenta variações maiores que as observadas para o equipamento de medição e avaliadores.

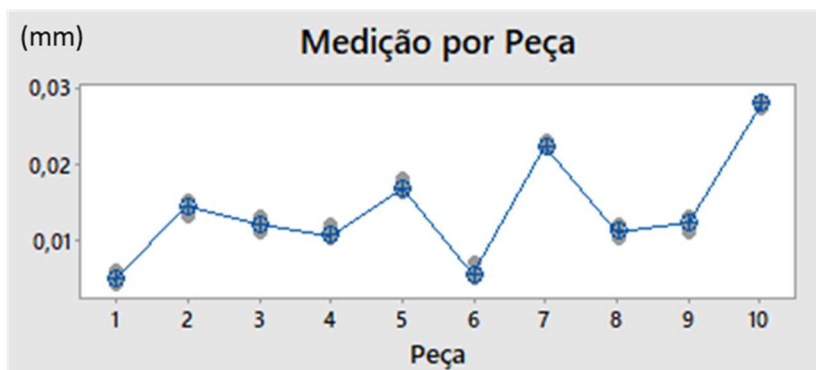
Figura 22: Carta de médias não superpostas para a cota batimento da calota



Fonte: Softwate Minitab 18, 2019

A figura 23 abaixo mostra os resultados das médias das medições de todos os operadores e a variação em torno da média, mostrando que as medições têm variação baixa (9,09% de variação máxima aproximadamente).

Figura 23: Médias das medições para a cota batimento da calota



Fonte: Softwate Minitab 18, 2019

A figura 24 abaixo apresenta a Carta das Amplitudes.

Figura 24: Carta de amplitude para a cota batimento da calota

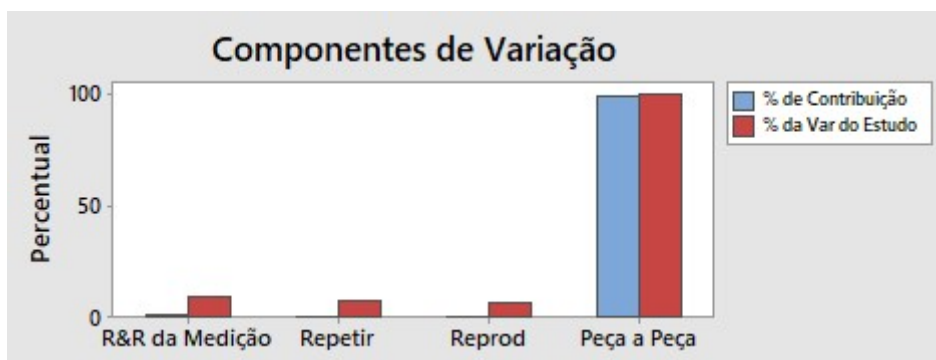


Fonte: Software Minitab 18, 2019

Vê-se que, para todos os operadores não há amplitudes fora dos limites de controle (valores estão entre 0 e 0,001888), o que comprova que os operadores tem modos semelhantes de medição.

A figura 25 abaixo é a representação gráfica das porcentagens de contribuição de variação do estudo para a cota batimento da calota, mostrada nas Tabelas 10 e 11. Este gráfico enfatiza que a maior fonte de contribuição e da variação é o peça-a-peça, que está relacionado ao processo produtivo.

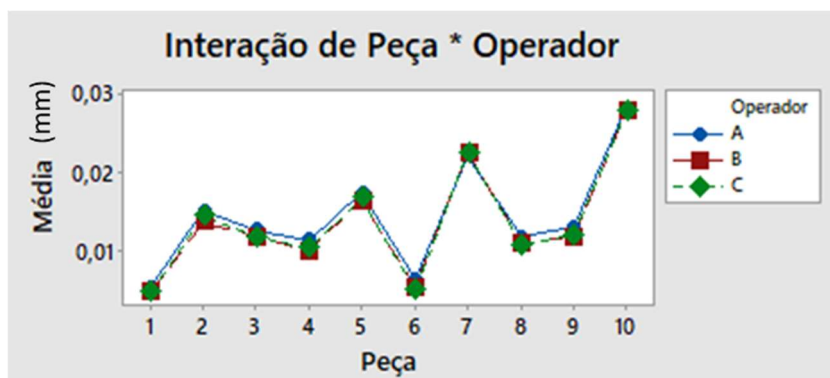
Figura 25: Porcentagem de contribuição e variação para a cota batimento da calota



Fonte: Software Minitab 18, 2019

Na figura 26 abaixo, gráfico de Interação de Peça vs Operador, tem-se uma indicação da significância de interação. As médias de medições feitas por cada avaliador em cada peça, são plotadas para cada peça. Segundo o AIAG (2010) a maneira de avaliar a interação é verificando o paralelismo entre as linhas e, caso sejam paralelas, não apresentam interação significativa.

Figura 26: Gráfico de Interação Peça * Operador para a cota batimento da calota



Fonte: Software Minitab 18, 2019

As linhas do gráfico encontram-se aparentemente paralelas durante toda a extensão, portanto não apresentam interação significativa.

4.2.2 Batimento do furo

As informações apresentadas na tabela 12 abaixo foram obtidas através do método de Análise de Variância. Nela estão contidos a Fonte (causa da variação), GL (Graus de liberdade associados com a fonte), SQ (Soma dos quadrados, que são os desvios em torno da média da fonte), QM (Quadrado médio, que é a soma dos quadrados dividida pelos graus de liberdade), o valor da fonte e o fator P (indica a significância estatística do valor).

Tabela 12: Nível de significância para a cota batimento do furo

Fonte	GL	SQ	QM	F	P
Peça	9	0,0039723	0,0004414	3844,13	0,000
Operador	2	0,0000002	0,0000001	0,68	0,520
Peça * Operador	18	0,0000021	0,0000001	0,69	0,808
Repetitividade	60	0,0000100	0,0000002		
Total	89	0,0039845			

Fonte: Adaptado de Minitab 18, 2019

Conforme critério de significância definido no manual MSA (2010) estabelecido para indicar a interação entre o item peça temos que: o índice de significância da peça é considerado significativo, pois $P \leq 0,05$. Ao avaliarmos a fonte operador ($P = 0,520$) e interação entre operador e peça ($P = 0,808$) percebemos que o índice de

significância é considerado não significativo nos dois casos, pois $P > 0,05$. Assim como no caso do estudo para o batimento da calota, o índice de significância não é estatisticamente significativo e assim é necessário aumentar a potência do ANOVA. Para se aumentar a potência do ANOVA é necessário aumentar o tamanho da amostra. Como o parâmetro, significância estatística, não é utilizado como um critério de aceitação definido no manual e nesta etapa do trabalho não é possível refazer todas as medições, deixaremos a abordagem mais aprofundada deste parâmetro para trabalhos futuros.

A tabela 13 abaixo mostra todas as fontes de variação e suas respectivas porcentagem de contribuição. Pode ser verificado que a maior porcentagem de variação por fonte de erro de medição está relacionada a variação peça-a-peça, que é a variação das peças em relação ao processo produtivo, representando 99,69% da variação total. Para um sistema ser aceitável a maior fonte de variação deve ser a variação peça-a-peça, que é o caso em estudo. A repetitividade e a reprodutibilidade somadas (Total R&R) estão representando 0,31% da variação total, o que é bastante inferior se comparado com a variação peça-a-peça, o que indica que o resultado está adequado.

Tabela 13: Componente de variância e porcentagem de contribuição para a cota batimento do furo

Fonte	Componente de Variância (CompVar)	% Contribuição (CompVar)
Total R&R	0,0000002	0,31%
Repetitividade	0,0000002	0,31%
Reprodutibilidade	0,0000000	0,00%
Peça-a-peça	0,0000490	99,69%
Variação total	0,0000492	100,00%

Fonte: Adaptado de Minitab 18, 2019

Na tabela 14 abaixo pode-se ver o desvio padrão e porcentagem de variação do estudo por fonte. Na porcentagem de variação do estudo está contido um dos critérios de aprovação, que é a %R&R, que deve ser avaliado. Nesse caso foi obtido o resultado de 5,61%, o que configura um sistema de medição aceitável (abaixo de 10%). O resultado é obtido pela variação do estudo da fonte em relação a variação total multiplicado por 100 e por esse motivo os valores de %VE não somam 100%.

Tabela 14: Desvio padrão e porcentagem de variação para a cota batimento do furo

Fonte	Desvio Padrão (DP)	Variação do estudo (6 x DP)	% Variação do estudo (%VE)
Total R&R	0,0003933	0,0023599	5,61%
Repetitividade	0,0003933	0,0023599	5,61%
Reprodutibilidade	0,0000000	0,0000000	0,00%
Peça-a-peça	0,0070017	0,0420099	99,84%
Variação total	0,0070127	0,0420761	100,00%

Fonte: Adaptado de Minitab 18, 2019

Outro detalhe que pode ser avaliado é o resultado 0% encontrado para a reprodutibilidade na variação percentual do estudo. Isso significa que a variação média entre os operadores foi nula, em outras palavras, o sistema se comportou como se houvesse apenas um operador, pelo fato da semelhança das medições.

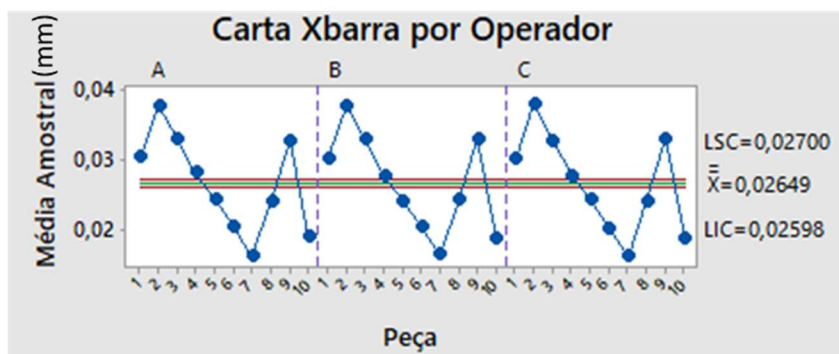
O NDC é outro critério de aprovação do sistema de medição. Seu cálculo é realizado usando a equação 6 da seção de revisão bibliográfica. O Minitab realiza o cálculo deste parâmetro durante a execução da metodologia ANOVA. Para os cálculos do batimento do furo o NDC é igual a 25. Esse valor é superior ao número mínimo exigido para o estudo ($NDC \geq 5$).

O *software* minitab também elabora uma serie de gráficos com relação ao estudo em questão.

A figura 27 mostra a cartas de médias para os três avaliadores. Neste gráfico se visualiza as médias das leituras de cada peça para facilitar a análise do comportamento das medições entre os avaliadores. Os resultados mostram que esse comportamento é semelhante e isso é um indicador de que todas as medições foram realizadas dentro do procedimento definido.

Segundo a AIAG, mais da metade das leituras devem ficar fora dos limites de controle estabelecidos. Essa condição está relacionada a repetitividade e isso indica que o sistema apresenta maior variação no processo produtivo do que na variação no equipamento ou entre avaliadores. A figura 27 mostra os resultados de medição fora dos limites de controle, ou seja, o processo de fabricação das engrenagens satélites para o batimento do furo apresenta variações maiores que as observadas para o equipamento de medição e avaliadores.

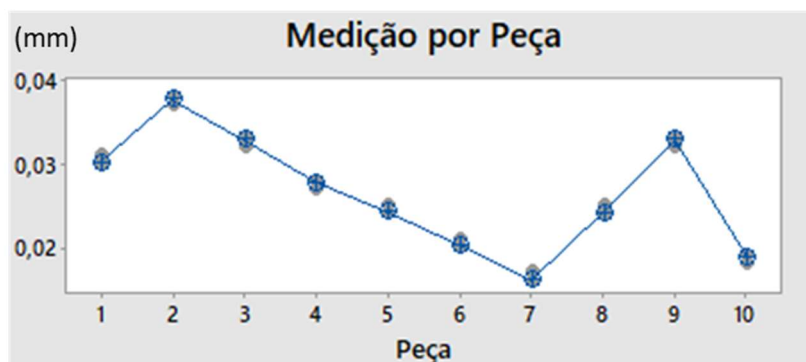
Figura 27: Carta de médias não superpostas para a cota batimento do furo



Fonte: Software Minitab 18, 2019

A figura 28 abaixo mostra os resultados das médias das medições de todos os operadores e a variação em torno da média, mostrando que as medições têm variação baixa (1,38% de variação máxima aproximadamente).

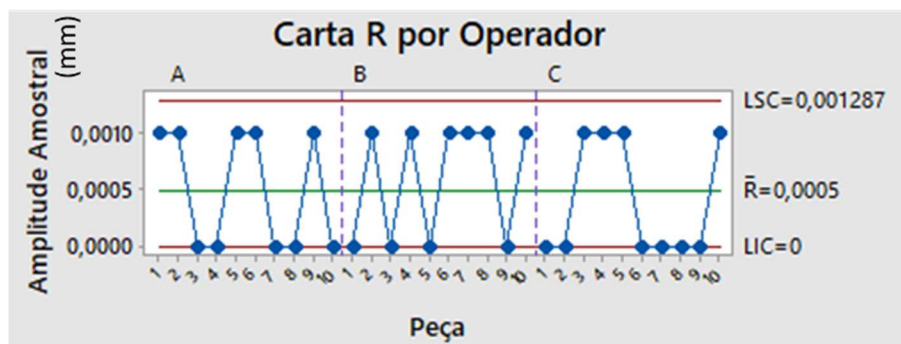
Figura 28: Médias das medições para a cota batimento do furo



Fonte: Software Minitab 18, 2019

A figura 29 abaixo apresenta a Carta das Amplitudes.

Figura 29: Carta de amplitude para a cota batimento do furo

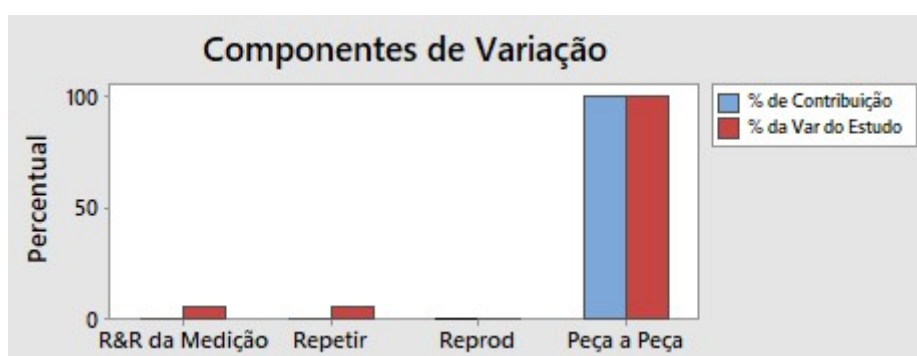


Fonte: Software Minitab 18, 2019

Vê-se que, para todos os operadores não há amplitudes fora dos limites de controle (valores estão entre 0 e 0,001287), o que comprova que os operadores têm modos semelhantes de medição.

A figura 30 abaixo é a representação gráfica das porcentagens de contribuição de variação do estudo para a cota batimento do furo, mostrada nas Tabelas 13 e 14. Este gráfico enfatiza que a maior fonte de contribuição e da variação é o peça-a-peça, que está relacionado ao processo produtivo. Outro detalhe observado é o fato de não haver reprodutibilidade.

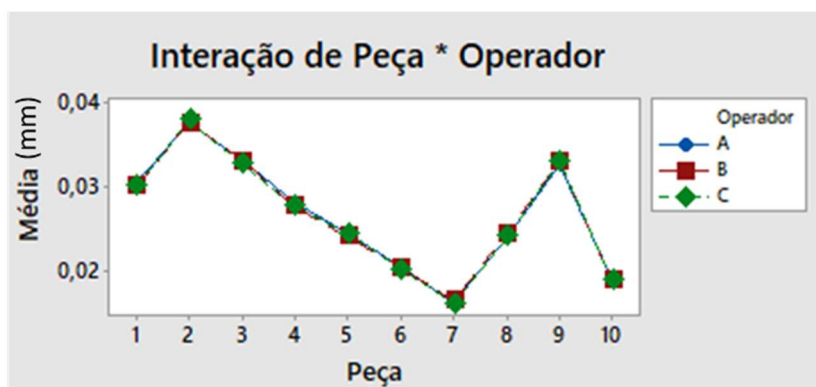
Figura 30: Porcentagem de contribuição e variação para a cota batimento do furo



Fonte: Software Minitab 18, 2019

Na figura 31 abaixo, gráfico de Interação de Peça vs Operador, tem-se uma indicação da significância de interação. As médias de medições feitas por cada avaliador em cada peça, são plotadas para cada peça. Segundo o AIAG (2010) a maneira de avaliar a interação é verificando o paralelismo entre as linhas e, caso sejam paralelas, não apresentam interação significativa.

Figura 31: Gráfico de Interação Peça * Operador para a cota batimento do furo



Fonte: Software Minitab 18, 2019

As linhas do gráfico encontram-se aparentemente paralelas durante toda a extensão, portanto não apresentam interação significativa.

5 CONCLUSÃO

Os resultados constataram que no estudo a significância estatística dos resultados é considerada não significativa. Isso pelo fato de a amostragem das peças ter sido relativamente pequena, apesar de estar dentro do especificado para o estudo. Em relação ao batimento da calota e do furo foi demonstrado que, nos dois casos, a maior variação está relacionada ao processo de produção (variação peça-a-peça) representando 99,09% e 99,69% respectivamente. Isso demonstrou que, em relação a variação do R&R, a variação do processo representa uma parcela muito maior da variação total, já que a contribuição da variação total do R&R representa 0,91% para o batimento da calota e 0,31% para o batimento do furo.

Com relação aos critérios de aprovação do batimento da calota, foi apresentado 9,54% para o %R&R e 14 distintas categorias. Para o batimento do furo, foi apresentado 5,61% para o %R&R e 25 distintas categorias, o que significa que para os dois parâmetros, o sistema está dentro dos limites de aceitação e não há necessidade de aprovação do cliente.

Um fato interessante que vale a pena ser observado é com relação a cota do batimento do furo não ter apresentado variação de reprodutibilidade. Essa ocorrência não invalida a aplicabilidade do método, apenas mostra que o sistema se comportou como um processo automático, devido ao fato de as variações entre as medições apresentadas entre os operadores terem sido insignificantes.

Tal análise foi de extrema importância para verificar que o sistema de medição está sendo utilizado de forma que possa garantir a qualidade das medições, ou seja, não há necessidade de alterações. Como forma de melhorar cada vez mais a avaliação do sistema poderá ser feita uma análise mais aprofundada.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Incluir os estudos de tendência, linearidade e estabilidade abrangendo toda a análise do sistema de medição;
- b) Aumentar a potência do estudo, aumentando a quantidade de amostras e diminuindo o desvio padrão das medições;
- c) Aplicar a incerteza de medição pelo método ISO GUM.

7 REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André Roberto de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. 5. ed. Barueri, São Paulo: Manole, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2015.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **About AIAG**. Detroit, 2019. Disponível em: <https://www.aiag.org/about>. Acesso em: 15 maio 2019.

AUTOMOTIVEINDUSTRY ACTION GROUP. **Core Tools Automotivo**, Detroit. Disponível em: <https://www.aiag.org/quality/automotive-core-tools>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

BARBOSA, E.C; PINHEIRO; B.C. A; LIMA, S.C. S; SILVA, C.H.O; NASCIMENTO, M; GONÇALVES, L.C. **Avaliação de um sistema de medição via índice R&R pelo método da Análise de Variância**. Sigmae, Alfenas - MG, 2014.

POYDO, Paulo Roberto. **Diferencial autobloqueante: tração em curvas**. Pindamonhangaba, 2019. Disponível em: www1.uol.com.br/bestcars/ct/difer.htm. Acesso em: 27 maio 2019.

BLUMAN, Allan G. **Elementary Statistics: A Step By Step Approach**. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2017.

BOSCH. **Manual de tecnologia automotiva**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2018.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: Teoria da Qualidade**. Rio de Janeiro: Campos. 2005.

CASTANHEIRA, Nelson Pereira. **Estatística aplicada a todos os níveis**. Curitiba: Intersaberes, 2012. Pdf.

CERCAL, Alcione José; ZVIRTES, Leandro; CORTIVO, Nélvio Dal. Sistemática para análise de sistemas de medição (MSA): Estudo aplicado em uma empresa fornecedora de produtos para indústria automotiva. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2009, Salvador. **A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão**. [...]. Salvador: ENEGEP, 2009. Pdf.

FIAT, G. **Cursos Sistema Adventure Locker Fiat Completo**. 2008. Disponível em: <https://vdocuments.net/locker-558c825722f4c.html>. Acesso em: 15 de maio 2019. p. 7.

FILHO, Augusto Sousa da Silva. **Estudo sobre a aplicação da Análise de Variância**. Belo Horizonte, 2009.

GALBINSKI, J. **ISO publica nova edição da ISO 9001**. Banas Qualidade, n. 199, p. 9, 2008

GARCÍA, A. C.; DEL RÍO, A. G. **Number of distinct data categories and gage repeatability and reproducibility. A double (but single) requirement.** Measurement. Elsevier, v. 46, 8ª ed, p. 2514-2518, out. 2013.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012).** Duque de Caxias, p. 34, 2012.

INTERNATIONAL AUTOMOTIVE TASK FORCE. **About IATF.** Beijing, China, 2019. Disponível em: <https://www.iatfglobaloversight.org/about-iatf/>. Acesso em: 27 maio 2019.

INTERNATIONAL AUTOMOTIVE TASK FORCE. IATF 16949:2016 – **Requisitos de Sistema de gestão da qualidade para as organizações de produção automotiva e de peças de reposição**, 2016.

ISO (International Organization for Standardization). Disponível em: <https://www.iso.org/deliverables-all.html#IS>. Acesso em 13 de maio de 2019.

JCGM. **Avaliação de dados de medição — Guia para a expressão de incerteza de medição.** [S.l.], 2008. JCGM 100:2008. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/gum_final.pdf. Acesso em: 04 mai.2019.

LIRA, F. A. **Metrologia na Indústria.** 6. ed. Sao Paulo: Erica Ltda, 2008.

MAEKAWA, Rafael; Carvalho, Marly Monteiro De; Oliveira, Otávio José De. **Um estudo sobre a certificação ISO 9001 no Brasil: mapeamento de motivações, benefícios e dificuldades. Gestão & Produção.** Universidade Federal de São Carlos, v. 20, n. 4, p. 763-779, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/110277>. Acesso em: 25 de maio 2019.

MARTINELLI, Fernando Baracho. **Gestão da Qualidade Total.** Rio de Janeiro: Fundação Biblioteca Nacional, 2009.

MARTINS, Márcio Marchesin. O ANÁLISE DA ADOÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE IATF 16949:2016 NO SEGUNDO NÍVEL DA CADEIA DE FORNECIMENTO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA. **Augusto Guzzo Revista Acadêmica**, São Paulo, v. 1, n. 22, p. 141-160, dec. 2018. ISSN 2316-3852. Disponível em: http://www.fics.edu.br/index.php/augusto_guzzo/article/view/791. Acesso em: 25 de maio 2019.

MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS. AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP, Detroit. Disponível em: <https://www.aiag.org/quality/automotive-core-tools/msa>. Acesso em: 15 de maio 2019.

MELO, J.C.S; PINHEIRO, B.C.A; BARBOSA, E.C. **O parâmetro R&R e suas formas de obtenção: uma revisão de literatura.** Sigmae, Alfenas - MG, 2016.

MENEZES, Felipe Moraes. **Análise Dos Sistemas De Medição.** 2013.

MINITAB 18. **Aumentar a potência.** Pensilvânia, 2018. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/statistics/power-and-sample-size/supporting-topics/increase-power/>. Acesso em: 27 maio 2019.

MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 7ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MSA. **Manual de referência de análises de sistemas de medição.** 4ª. ed. São Paulo: IQA, 2010.

NETO, Benício Barros; SCARMINIO, Ieda Spacino; BRUNS, Roy Edward. **Como fazer experimentos.** Porto Alegre: Bookman, 2010.

SANTOS, Marlene; NETO, Hernâni Veloso. A norma IATF 16949:2016: mudanças, transição, caminhos e oportunidades. **Cadernos de Engenharia de Segurança, Qualidade e Ambiente**, Vila Nova de Gaia, p. 69-91, 15 jun. 2019.

TAYLOR, Barry N.; KUYATT., Chris E. **Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results.** Washington, DC: National Institute of Standards and Technology, 1994.

TOLEDO, José Carlos de. **Sistemas de Medição e Metrologia.** Curitiba: Intersaberes, 2014.