

FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E
TECNOLOGIA INDUSTRIAL

MESTRADO PROFISSIONAL

ALCINEI LOPES RIBEIRO

CONTROLE DE VARIAÇÕES DIMENSIONAIS EM
CARROCERIAS DE VEÍCULOS - CONTRIBUIÇÃO DA ÁREA
DE PRODUÇÃO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO
DE PRODUTO.

Salvador

2011

ALCINEI LOPES RIBEIRO

**CONTROLE DE VARIAÇÕES DIMENSIONAIS EM
CARROCERIAS DE VEÍCULOS - CONTRIBUIÇÃO DA ÁREA
DE PRODUÇÃO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO
DE PRODUTO.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof.Dr. Francisco Uchoa Passos

Salvador
2011

S581

Ribeiro, Alcinei Lopes
Controle de variações dimensionais em carrocerias de veículos -
Contribuição da área de produção ao processo de desenvolvimento de
produto: BA / Alcinei Lopes Ribeiro. -Salvador, 2010.
108f;il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos
Dissertação de Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial – Faculdade
de Tecnologia SENAI Cimatec, 2010.

1. Qualidade. 2. Indústria automobilística. 3. Carroceria Automotiva. 4. Seis
Sigma. 5. Controle Estatístico. 6. Variações Dimensionais I. Faculdade de
Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Ribeiro, Alcinei Lopes. III. Título.

CDD 658.78

ALCINEI LOPES RIBEIRO

**CONTROLE DE VARIAÇÕES DIMENSIONAIS EM
CARROCERIAS DE VEÍCULOS - CONTRIBUIÇÃO DA ÁREA
DE PRODUÇÃO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO
DE PRODUTO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

Aprovada em 28 de março de 2011.

Banca Examinadora

Orientador: Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos

Doutor em Administração pela Universidade de São Paulo (USP), São Paulo - Brasil

Membro externo da Banca: Prof. Horácio Nelson Hastenheiter Filho

Doutor em Administração pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), Bahia - Brasil

Membro externo da Banca Prof^a Dr^a Liliâne de Queiroz Antonio

Doutora em Educação, Ciência e Tecnologia pela Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas- SP-Brasil.

Dedico este trabalho á minha mãe
Itailde da Rocha Lopes Silva e ao meu pai José Ribeiro da Silva,
Com amor, admiração e gratidão por sua compreensão, carinho, e incansável apoio
ao longo de toda a minha formação...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde, força, coragem e vontade de vencer todos os obstáculos que se postaram em meu caminho.

Agradeço a minha família pelo carinho, incentivo e compreensão em virtude do tempo em que não pude estar com eles.

Meus agradecimentos ao Prof. Dr. Horácio Nelson Hastenheiter Filho, Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos e ao Prof^a. Dr^a Liliane de Queiroz Antonio, tanto pela orientação prestada antes e durante a realização deste trabalho e de outros, quanto pelo apoio e incentivo.

Aos meus pais, Itailde e José, responsáveis por terem me dado o presente desta profissão.

À Ford Motor Company do Brasil por ter me dado a oportunidade de participar do curso de Mestrado em Tecnologia Industrial, o qual é agora coroado por este trabalho.

A minha noiva por ter compreendido o tempo que não podemos desfrutar juntos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho.

Meus agradecimentos.

RESUMO

Um dos aspectos de qualidade mais importantes em um automóvel é proveniente da geometria da carroceria (*Body in White - BIW*), que tem grande influência na estética e no funcionamento do veículo.

No processo de construção de carrocerias existem fatores a serem controlados para garantir a qualidade do veículo ainda no curso do referido processo, tais como: a qualidade da superfície das peças estampadas; a distribuição e a qualidade dos pontos de solda a serem aplicados; e a qualidade e coordenação entre as peças de chapas metálicas (*matching*). Além disso, devido a algumas variações geométricas inevitáveis, provenientes do projeto e/ou do processo de construção, se faz necessário o controle dimensional no processo de construção. A questão da variação dimensional da carroceria é motivo de preocupação cada vez mais freqüente para as áreas de manufatura e projeto automotivo, em razão do impacto negativo sobre a satisfação dos clientes e dos custos adicionais com inspeções, retrabalhos, reparos, refugos e garantia.

Este trabalho aborda a temática das variações dimensionais oriundas do processo de construção da carroceria em uma montadora, e focaliza os problemas específicos decorrentes dessas variações sobre o ajuste de portas do veículo. No caso das portas, os ajustes têm impactos que perduram durante o uso do veículo, com influências sobre a estética e a funcionalidade do produto, podendo gerar rejeições pelos clientes finais. Assim, o projeto de engenharia deve encontrar um equilíbrio entre a funcionabilidade e a estética das portas.

O problema central do estudo está desdobrado nas seguintes questões: (a) que tipos de rejeições, pelos clientes, podem surgir em decorrência de ajustes de portas? (b) quais as causas dessas rejeições? (c) como eliminar as causas? e (d) como retroalimentar a área de Engenharia do Produto com os dados do estudo?

Para dar respostas a estas questões, foi realizado um estudo de caso por um time multifuncional da montadora, sendo encontrados os seguintes resultados: (a) os ruídos de vento nas portas, observados com o veículo em movimento a partir de determinadas velocidades, são aspectos que têm impacto significativo na satisfação dos clientes; (b) os ruídos de vento podem ser provocados por determinados tipos de ajustes de portas identificados no estudo; (c) foram definidos procedimentos

corretivos, na montagem do veículo, para a eliminação dos ruídos de vento; e (d) os resultados foram encaminhados à área de Engenharia do Produto para análise e incorporação em novos projetos.

Para que os ruídos de vento sejam definitivamente eliminados, foi sugerida a transferência das informações levantadas, no estudo de caso, para o processo de desenvolvimento do produto, servindo assim como *feed back* no esforço de melhoria contínua e aprendizado para os novos produtos.

A importância do presente trabalho reside em dois aspectos principais. Em primeiro lugar, evidencia-se que nem sempre a conformidade estrita com especificações de projeto assegura a satisfação plena do cliente. Depois, destaca-se que a área de manufatura tem papel importante na retroalimentação de informações à Engenharia do Produto, as quais contribuem para a otimização do projeto do veículo.

Palavras chaves: Carroceria Automotiva. Variações dimensionais, Controles dimensionais. Manufatura automotiva. Projeto do produto automotivo. Qualidade,. Indústria automobilística, Controle de qualidade, Satisfação dos clientes

ABSTRACT

Looking at one of the aspects most important of quality in a car is coming from the geometry of the body (Body in White - BIW), which has great influence on the aesthetics and operation of the vehicle.

In the process of building bodies are factors to be controlled to ensure the quality of the vehicle still on the course of that process, such as surface quality of stamped parts, distribution and quality of the weld points to be applied, and the quality and coordination between the sheet metal parts (matching). Moreover, due to some unavoidable geometric variations, from the design and / or construction process, it is necessary dimensional control in the construction process. The issue of dimensional variation of the body is a concern increasingly frequent in the areas of automotive design and manufacturing, due to the negative impact on customer satisfaction and additional costs for inspections, rework, repairs, scrap and warranty.

The approaches of the work is talks about the dimensional variations from the process of building an assembly plant , and focuses on specific problems arising from these changes on the adjustment of vehicle doors. In the case of doors, adjustments have impacts that last for vehicle use, with influences on the aesthetics and functionality of the product, which can generate rejections aware by the end. Thus the project engineering must strike a balance between functionality and aesthetics of the doors.

The central problem of the study is deployed on the following issues: (a) what types of rejections by customers, may arise from adjustments doors? (B) what are the causes of these rejections? (C) how to eliminate the causes? and (d) to feed the area of Product Engineering with data from the study?

To provide answers to these questions, we performed a case study by a team of multifunctional assembler, and found the following results: (a) the wind noise on the doors, observed the vehicle is in motion from certain speeds, are aspects that have significant impact on customer satisfaction, (b) the wind noise can be caused by certain types of doors adjustments identified in the study , (c) corrective procedures were defined in the assembly of the vehicle for the elimination of wind noise and (d) the results were sent to the area of Product Engineering for review and incorporation into new designs.

For the wind noise are permanently removed, it was suggested the transfer of information collected, in the case study for the process of product development, serving as feedback on the effort of continuous improvement and learning for the new products.

The importance of this work lies in two main respects. Firstly, it is evident that not always strict compliance with design specifications to ensure full customer satisfaction. Then we point out that the manufacturing area has an important role in feedback information to the Product Engineering, which contribute to the optimization of vehicle design.

Keywords: Automotive Body. Dimensional changes, dimensional controls. Automotive manufacturing. Automotive product design. Quality. Automobile Industry, Quality Control, Customer Satisfaction.

LISTA DE TABELAS

3.1-Compreensões da qualidade.....	39
4.1-Tabela dos dados dos testes iniciais (ANEXO I)	103
4.2- Tabela dos dados dos testes iniciais (ANEXO II)	104
4.3-Tabela dos dados dos testes finais (ANEXO III).....	105
4.4-Tabela dos dados dos testes finais (ANEXO IV)	106
4.5-Tabela dos dados dos testes finais (ANEXO V)	107
4.6-Tabela dos dados dos testes finais (ANEXO VI)	108

LISTAS DE FIGURAS

Figura 01-Veículo com motor a combustão quatro tempos produzido por Karl Benz em 1885.....	24
Figura 02-Ford T 1908, parcialmente construído em chapa de aço	25
Figura 03-Ford Modelo A 1929, carroceria construída em chapa de aço	26
Figura 04-Estrutura do modelo de qualidade de N.Kano.....	32
Figura 05-Estrutura funcional do modelo de qualidade de N.Kano.....	33
Figura 06-Fluxograma do processo de construção da carroceria.....	50
Figura 07- localizadores em cada peça e conjunto de peça e referência dimensional para os 6 graus de liberdade (+X, -X,+Y, -Y,+Z, -Z) e sistema dimensional 3,2,1	52
Figura 08-Cantoneiras localizadores	55
Figura 09-Referência dimensional para os 6 graus de liberdade.....	56
Figura 10- Referência dimensional para os 6 graus de liberdade (+X, -X,+Y, -Y,+Z, -Z) e sistema dimensional 3,2,1	57
Figura 11-Exemplo de seqüência de localizadores	58
Figura 12-Exemplo de dispositivo de controle	60
Figura 13-Exemplo de Cintel com barra de Aço escalonada	60
Figura 14-Chapelona da forma de um pára-lama automotivo.....	61
Figura 15-Exemplo esquemático de uma máquina de medição por coordenadas-Manual de instalação de uma CMM Brown Sharpe	62
Figura 16-Foto de uma máquina de medição por coordenadas de duas colunas .	62
Figura 17-Foto de um resultado dimensional.....	63
Figura 18-No lado esquerdo da foto uma medição sendo executada com o auxílio de um relógio comparador e no lado direito da foto uma medição sendo executada com o auxílio de um Data Myte	64
Figura 19-Retorno elástico após processo de estampagem de painel interno da porta.	65

Figura 20-localizador de “blank ‘em uma ferramenta de estampagem	67
Figura 21-localizador de um blank do painel interno da porta.	68
Figura 22-Carroceria (Body in White–BIW) com as posições dos pontos de solda ..	70
Figura 23-Dispositivo de solda de um componente do compartimento do motor	71
Figura 24-Exemplo de falta de coordenação entre as chapas (Matching)	72
Figura 25-Processo de teste de solda não destrutivo	73
Figura 26-Cálculo de tolerância onde não são considerados os erros estatísticos ..	74
Figura 27-Cálculo de tolerância onde são considerados os erros estatísticos	74
Figura 28-Etapas metodológicas utilizadas para o desenvolvimento da dissertação	75
Figura 29-Microfone na região do ruído de vento e em um boneco simulando um passageiro em um veículo	80
Figura 30-Região do ruído de vento	81
Figura 31-Diagrama de causa e efeito.....	82
Figura 32-Avaliação de entrada e saída de ar na carroceria	83
Figura 33- Carta de Tendência	83
Figura 34-Avaliação desenho do perfil da borracha de vedação das portas.	84
Figura 35-Avaliação desenho do perfila da borracha de vedação das portas	85
Figura 36-Avaliação dimensional da abertura entre a porta dianteira e a lateral na região da coluna “A”	85
Figura 37-A figura demonstrando os pontos definidos pelo time para medição.	87
Figura 38- Carta de Tendência dos pontos 1, 2 e 3 tanto o lado esquerdo como do lado direito. ...	88
Figura 39- <i>Box Plot</i>	89
Figura 40-Matriz de Causa e efeito.....	90
Figura 41-Carta de controle simples do requisito do cliente para fechamento de portas antes e depois dos ajustes realizados.	92

Figura 42-Mapeamento do processo.	93
Figura 43-Espinha de Peixe.....	95
Figura 44-Figura demonstra a região onde houve o ajuste de 1,0mm na direção de – Y.	96
Figura 45-Carta de controle simples do requisito do cliente para fechamento de portas com as dobradiças protótipos.	97

LISTAS DE SIGLAS

APQP-(*Advanced Production Quality Planning*)-Planejamento Avançado da Qualidade do Produto;

CEP-Controle Estatístico do Processo;

FMEA-(*Failure Mode and Effect Analysis*)-Análise do Modo e Efeito de Falha;

DFMA-(*Design for Manufacturing and Assembly*)-projeto para manufaturar e montar;

LASER-(*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)-Ampliação de Luz por Radiação Estimulada;

MIG-(*Metal Inert Gas*)-Gas inerte para solda;

MAG-(*Metal Active Gas*)-Gas ativo para solda;

DRF-(*Datum Reference Frames*)- Ponto de referência do Corpo;

M.C. S- (*Master Control Surface*)- Superfícies Máster de Controle;

M.C. H-(*Master Control Holes*)-Furos Máster de Control; e

CMM-(*Coordinate Measurement Machine*)-Máquinas de Medição por Coordenadas;

OCMM-(*Optical Coordinate Measurement Machine*) - Máquinas de Medição por Coordenadas Óticas;

CNC-(*Computer Numerically Controlled*) - Computador Numericamente Controlado;

MP-(*Measure Points*) - Ponto de Medição;

BIW-(*Body in White*)- Carroceria de Automóvel;

CATIA-(*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*)-Ajuda do computador para aplicação interativa;

GT&D-(*Global Tolerance & Dimensional*) - Tolerancia & Dimenional Global;

ASME-(*American Society of Mechanical Engineers*)- Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos;

RSS-(*Root Summed Square*)-Soma da Raiz Quadrada;

PDCA-(Plan, Do,Check and Act)-Planejar, Executar,Verificar e Agir;

SUMÁRIO

1.0 – INTRODUÇÃO.....	18
1.1 - Definições do problema	19
1.2 – Objetivo	20
1.3 – Motivação.....	20
1.4 - Importâncias da Pesquisa.....	21
1.5 - limitações.....	21
1.6 - Organização da Dissertação de mestrado	22
2.0 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1 - A historia da evolução da fabricação da carroceria.	23
2.1.1 - História de fabricação de automóveis em série	23
2.1.2 - História de fabricação de carrocerias.....	24
2.1.3 - A necessidade do controle de qualidade das carrocerias	26
2.2 - Percepção da qualidade	27
2.3 - Conceitos de qualidade	34
2.4 - Qualidade de carrocerias.....	40
2.5 -Medodos de soluções de problemas mais utilizados pela montadora	42
2.5.1 – 5 Porquês.....	42
2.5.2 – 8 Disciplinas	43
2.5.3 – FMEA	44
2.5.4 – PDCA	45
2.5.5 – Six sigma	46
3.0 – PROCESSO DE CONSTRUÇÃO E CONTROLE DIMENSIONAL DAS CARROCERIAS.....	47
3.1 - Processo de construção de carrocerias.....	47
3.2- Métodos de controle dimensional da carroceria	51
3.3 - Variações dimensionais da carroceria	59
3.3.1- Variações dimenionais decorrentes do processo de estampagem	64
3.3.1.1-O retorno elástico (spring backs) das peças depois de prensadas.....	65
3.3.1.2-Os pré-localizadores das chapas pré-recortadas (localizadores dos “blanks”)	66
3.3.1.3- Folgas nas matrizes da ferramenta de estampagem	67

3.3.1.4- Localizadores másteres de uma operação para outra.	68
3.3.2- Variações decorrentes do processo de soldagem da carroceria.	68
3.3.3- Variações pertinentes ao empilhamento das tolerâncias (" <i>tolerance stack up</i> ")	73
4.0 – METODOLOGIA.	75
4.1- Etapas do trabalho.....	75
4.2 - Identificação das não conformidades.....	75
4.3 - Impacto das não conformidades na satisfação dos clientes	76
4.4 - Reduções das variações dimensionais da carroceria	76
4.5 - Retro-alimentação da área de desenvolvimento de produto.....	77
5.0 – ESTUDO DE CASO	78
5.1 - Tratativa dada aos problemas de campo.....	78
5.2 - Identificações do problema do estudo de caso	79
5.3 - Resoluções do problema	80
5.4 - Avaliação e conclusões do re-teste dos veículos.....	89
5.5 - Contenções do problema e ação definitiva	90
6.0- CONCLUSÕES	99
6.1-Contribuições	99
REFERÊNCIAS	100

1.0 - INTRODUÇÃO

A produção de elementos de chapas estampadas a frio pode ser considerada como um dos mais importantes processos no campo industrial na fabricação em série. Este tipo de processo tem uma larga aplicação nas indústrias aeronáutica, automobilística, de utensílios domésticos, móveis, construção civil, máquinas e componentes. A técnica da estampagem a frio é executada para manufaturar peças com chapa ou fita, de diversos tipos de metais e ligas, as quais terão formas a partir da prensagem com o auxílio de matrizes, punções, facas e óleo de estampagem. No entanto, chapas de aço estampadas a frio podem introduzir variabilidade na construção da carroceria automotiva.

Com o auxílio de dispositivos localizadores, as peças estampadas são soldadas formando subconjuntos que dão origem à carroceria. O processo de solda a ponto, o número elevado de peças que formam os conjuntos, o retorno elástico (*spring back*) das peças estampadas, os desgastes dos componentes do dispositivo de montagem e a seqüência de solda são as principais fontes de variações existentes no processo de construção das carrocerias.

As variações existentes durante o processo de construção das carrocerias causam problemas de qualidade, podendo gerar retrabalhos, refugos e insatisfação dos clientes finais do produto.

Tais variações impactam diretamente no processo de montagem do veículo e, desta forma, no ajuste em geral das portas que, por sua vez, afetam a satisfação com a qualidade percebida pelos clientes finais dos veículos. Assim, se faz necessário conhecer as fontes de variações dimensionais, de forma a estabelecer meios que minimizem tais variações. Estes avanços devem ser incorporados ao projeto da carroceria, de maneira a manter-se um controle efetivo durante todo o processo de construção.

Quando o processo de desenvolvimento do produto e o processo de produção em série são viabilizados em conjunto, obtêm-se melhores resultados quanto á qualidade do produto. Para tanto, se justifica o uso de ferramentas da qualidade tais como: APQP (*advanced production quality planning*- planejamento avançado da qualidade do produto), 6 sigma, CEP(controle estatístico do processo), FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* - Análise do Modo e Efeito de Falha),DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly* –

projeto para manufatura e montagem) entre outras, com o foco principal na satisfação dos clientes, nas melhorias dos processos e na redução de custos.

Se tais melhorias não forem promovidas, as dificuldades de montagem de peças na carroceria poderão impactar negativamente na qualidade do veículo e na satisfação do cliente final e no fabricante das seguintes formas:

- (a) Demora na entrega do veículo devido a atrasos por problemas na linha de montagem.
- (b) Custo alto devido ao inventário de veículos não conformes no fluxo de caixa; e
- (c) Elevação dos custos de garantia.

Faz-se assim necessário investigar os impactos destas variações na montagem de veículos.

1.1 - Problema

Este trabalho tem como escopo identificar as principais fontes de variações existentes no processo de construção de carrocerias, os impactos destas variações e os controles cabíveis para garantir a mínima variação possível durante o processo de fabricação daqueles itens. Como as variações estão implicitamente introduzidas em todo o projeto e construção das carrocerias, faz-se necessária uma metodologia para identificar as causas raízes, bem como entender as fontes de variações para reduzi-las e assim viabilizar a montagem do veículo. Em face de sua importância para a qualidade dimensional da carroceria, o ajuste de portas foi escolhido como foco principal do trabalho.

O problema de pesquisa deste trabalho está expresso nas seguintes perguntas:

- Que tipos de não conformidades resultam das variações dimensionais das carrocerias?
- Qual o impacto destas não conformidades para os clientes compradores dos veículos?
- Como reduzir estas variações?

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é identificar os principais tipos de não conformidades geradas pelas variações dimensionais em portas, avaliar os impactos destas não conformidades para os clientes compradores dos veículos e sugerir procedimentos para minimização destas variações.

Estes objetivos gerais serão desmembrados nos seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar, a partir das reclamações dos clientes, as não conformidades geradas pelas variações dimensionais no ajuste de portas;
- b) Levantar os impactos destas não conformidades na satisfação dos clientes finais dos veículos;
- c) Analisar o conceito de construção e a metodologia do controle dimensional durante o processo produtivo;
- d) Ações de melhoria para o cliente; e
- e) Retro-alimentar a área de desenvolvimento de veículos com as informações resultantes do estudo.

Escolheu-se a componente porta em razão destes itens absorverem grande parte de todas as variações dimensionais existentes na carroceria.

1.3 Motivação

A motivação geral deste trabalho é demonstrar como é possível alcançar um ajuste de portas que agrada grande parte dos clientes finais, sem impactar na funcionalidade do veículo e assim compartilhar os conhecimentos adquiridos durante a investigação com a área de desenvolvimento de produtos.

Este estudo é particularmente motivado pelos seguintes aspectos:

- Os ajustes das portas são responsáveis por 22% do inventário de veículos não conformes dentro da fabrica;

- 4,5% de todos os retoques de pintura são provenientes dos reajustes efetuados nas portas após o produto acabado;
- Ocorre aumento de tempo de retenção dos veículos na planta de fabricação devido aos retrabalhos sofridos durante o processo de pré entrega do veículo;
- 10 em cada 360 clientes finais reclamam dos ajustes de portas; e
- 04 em cada 360 clientes finais reclamam de ruídos de vento na região das portas.

1.4- Importância da pesquisa

A importância deste trabalho é demonstrar as principais fontes de variação existentes no processo de construção de uma carroceria veicular e as formas mais comuns de controle a fim de reduzir o impacto destas variações ainda durante o processo de desenvolvimento do produto e implementar as formas de controle existentes e cabíveis para cada tipo de variação oriundas do projeto ou do processo de construção da carroceria.

Em termos de contribuição para a indústria, têm-se a oportunidade de demonstrar como podem ser identificadas e reduzidas tais variações, e demonstrando também como é possível conter um problema oriundo do projeto dentro do processo de manufatura.

Existe escassez de trabalhos técnicos de pesquisa que detalhem as fontes de variações funcionais com profundidade suficiente, tanto na pesquisa teórica, como nos casos práticos. Assim este trabalho, dentro de suas limitações contribui para o preenchimento desta lacuna.

1.5- Limitações

Os dados da pesquisa de satisfação dos clientes coletados neste trabalho são pertinentes apenas a um dos três modelos fabricados na planta de fabricação da montadora em questão. No entanto as partes da carroceria citadas neste estudo são comuns a dois veículos da mesma plataforma, ou seja, ao mesmo assoalho.

Foram usadas as portas, como objeto de estudo, devido à complexidade que se teria se fosse tomada a carroceria inteira como objeto de estudo

1.6- Organização da Dissertação

Este trabalho está organizado em 5 capítulos. O presente capítulo introdutório apresenta à definição do problema, o objetivo, as motivações, a importância da pesquisa, suas limitações, levantamento dos objetivos específicos e a organização da dissertação.

No capítulo 2 aborda-se a fundamentação teórica, a história da evolução da fabricação de carrocerias desde o início da produção de automóveis artesanalmente com carrocerias em madeira até o surgimento das carrocerias em aço e com produção seriada. Além disso, é apresentada uma síntese do controle de qualidade das carrocerias e aspectos de percepção dos clientes sobre a qualidade, seus anseios, necessidades e como as empresas trabalham para entendê-los. Discorre-se também sobre como pensadores renomados entendem a qualidade e as expectativas dos clientes.

No capítulo 3 são apresentados os tipos mais comuns de variações dimensionais existentes no processo de construção de carrocerias automotivas, discute-se a questão do acúmulo de tolerâncias e mostra-se como estas variações impactam no acabamento final do automóvel.

O capítulo 4 trata da metodologia de pesquisa utilizada para a coleta, tratamento, apresentação dos dados da pesquisa.

O Capítulo 05 apresenta os resultados do estudo de caso realizado na manufatura, o qual servirá para fornecer *feed back* à área de Desenvolvimento de Produto.

E por fim o capítulo 6 que traz as conclusões e as considerações gerais sobre o estudo.

2.0- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a história da evolução da fabricação da carroceria, desde o início, com a fabricação artesanal em madeira, até os dias de hoje, com a fabricação em chapas de aço, solda a ponto e o controle do processo para a garantia da qualidade. Apresentam-se, também os aspectos do entendimento e da percepção dos clientes para com a qualidade, seus anseios, necessidades e como as empresas trabalham para entendê-los, no que se refere a veículos produzidos em série.

Comentam-se ainda os métodos de resolução de problemas mais comuns utilizados pela montadora em questão.

2.1- A história da evolução da fabricação da carroceria.

2.1.1 - Histórias de fabricação de automóveis em série.

Em 1769 Nicolas Joseph Cugnot, na França, construiu o primeiro veículo motorizado que tinha três rodas e era movido por motor a vapor. Já o primeiro veículo provido de motor a combustão interna a ser produzido com propósito comercial foi um veículo, também com apenas três rodas, produzido em 1885 por Karl Benz, na Alemanha, que possuía um motor a gasolina. Depois, surgiram outros modelos, vários deles com motores de dois tempos, como o veículo inventado, no ano de 1884, por Gottlieb Daimler. Logo após, uma empresa francesa chamada Panhard et Levassor iniciou sua própria produção e venda de veículos. Em 1892, Henry Ford produziu seu primeiro Ford na América do Norte (CORREA, 2003).

Após a Primeira Guerra Mundial, os fabricantes partiram para uma linha de produção de menor custo, os automóveis seriam, então, mais compactos e fabricados em série. Tanto Henry Ford, nos Estados Unidos, quanto Willian Morris, na Inglaterra, produziram modelos, como o Ford, o Morris e o Austin. Estes tiveram muita saída das fábricas e,

impressionados com o resultado, logo outras fábricas começaram a produzir veículos em série.

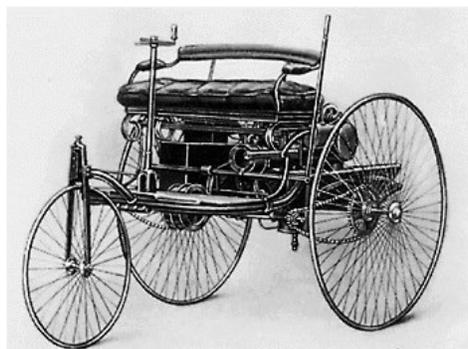


Figura 01-Veículo com motor a combustão (quatro tempos) produzido por Karl Benz em 1885.

Fonte: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic-art/44957/88105/The-first-Benz-a-three-wheeled-vehicle-with-a-steel>.

2.1.2 - História da fabricação de carrocerias.

No começo dos anos de 1900, as carrocerias eram parcialmente em aço, porém com o chassi ainda em madeira. A partir de 1910, com o aumento da potência dos motores (velocidades maiores), foi iniciado o emprego de aço no chassi e na maior parte da carroceria.

A montagem seriada de automóveis se deu no início do século, em 1908, tendo sido idealizada por Henry Ford (1863-1947), que se tornou um dos pioneiros na aplicação da abordagem conhecida como administração científica. Sua atividade profissional iniciou-se em 1880 quando se tornou aprendiz de engenheiro na Detroit Drydock Company, um grande estaleiro onde viu pela primeira vez um motor de combustão interna. Logo depois recebeu uma oferta de emprego como engenheiro de uma usina elétrica de Detroit em Michigan USA da Edison Illuminating Company. Em 1896 Henry Ford subiu no seu primeiro carro e, após uma volta pequena, teve a frustração de ver o seu carro quebrado.

Em 1903, Henry Ford e mais onze sócios formaram a Ford Motor Company. Em outubro de 1913, com a grande mudança de levar a tarefa ao operário, a empresa instalou uma linha de montagem, onde um chassi era puxado lentamente por uma corda e um sarilho. As peças e 140 montadores ficavam posicionados em intervalos diferentes ao longo da linha de 45 metros de comprimento. Na medida em que o sarilho arrastava o chassi pelo chão, os funcionários fixavam as peças no carro. Desta forma, ao invés de demorar doze horas e meia para construir um único carro, levaram cinco horas e cinquenta minutos. (“Um século de Ford” – Edição comemorativa de um centenário).

O processo produtivo da Ford era baseado na padronização de componentes que compunham o automóvel. Os fabricantes de automóveis ofereciam em suas linhas modelos construídos em madeira (plataforma e carroceria), que em alguns casos não eram construídos pela própria fábrica do veículo, sendo confeccionado por empresas de marcenaria especializadas em componentes, como colunas, chassi, assoalho, longarinas, laterais, sendo que alguns modelos eram cobertos com chapas de aço. Algumas empresas de marcenaria chegavam a produzir até 500 conjuntos de componentes por ano.

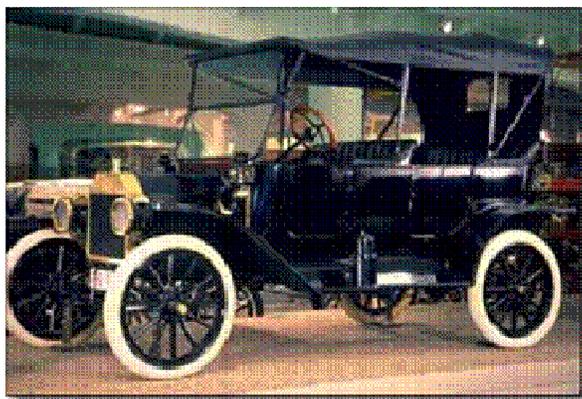


Figura 02- Ford T 1908, parcialmente construído em chapa de aço.

(Fonte: <http://www.hfmgv.org/exhibits/showroom/1908/model.t.html>)

Com a melhoria da tecnologia, as fábricas de automóveis substituíram partes da estrutura das carrocerias, tradicionalmente confeccionadas em madeira, por componentes metálicos. Registra-se a produção do primeiro carro todo em aço em 1915, fabricado pelo inglês Edward Budd. Aços laminados a quente foram intensivamente aplicados nos

carros, na década de 20. Isto ocorreu em razão do aprimoramento dos laminadores e do surgimento do material bobinado.

Em 1929, Henry Ford lançou o modelo A. O modelo era fabricado em aço estampado e soldado por pontos de solda. Este novo processo de construção de carrocerias de peças estampadas e soldadas a ponto, aliado à produção em série, deu início à necessidade de controles mais rígidos na fabricação de automóveis, hoje chamados de controle de processo.



Figura 03- Ford Modelo A 1929, carroceria construída em chapa de aço.

(Fonte: <http://www.carroantigo.com>)

2.1.3- A necessidade do controle de qualidade das carrocerias automotivas.

A indústria automobilística fabrica cerca de 70 milhões de veículos anualmente movimentando assim grandes somas financeiras em curtos espaços de tempo, e está constantemente em processo de melhoria, tanto a nível tecnológico como administrativo, para permitir acompanhar a concorrência. A indústria automobilística passou a ser influenciada pela subjetividade, percebendo que, no mercado atual, além do preço e do prazo, a qualidade era fator que determinava a competitividade entre as empresas.

Um dos grandes desafios na indústria automobilística é colocar no mercado novos produtos em curto espaço de tempo, com qualidade, baixos custos, e que satisfaçam as expectativas dos clientes. Uma das formas de se reduzir o custo é encurtar o tempo de projeto e fabricação dos meios de construção eficientes (Linhas de construção e soldagem, ferramentas de estampagem e meios de controle).

As variações dimensionais, tanto da carroceria quanto dos componentes que serão instalados nela, causam dificuldade de montagem e, devido a estas variações, podem impactar negativamente os pré-requisitos de satisfação dos clientes e do fabricante, tais como, por exemplo:

- (a) Demora na entrega, devido ao veículo ter saído da linha de montagem sem um determinado componente, impossibilitando-o de ser montado no tempo previsto;
- (b) Custo alto devido ao inventário de veículos não conformes que impactam no fluxo de caixa; e
- (c) Percepção negativa do cliente quanto à qualidade.

Tais variações ocorrem por diversos fatores, dentre eles, o processo de montagem, a habilidade dos operadores, o desgaste de ferramentas, a somatória das tolerâncias de cada componente, a temperatura de instalação, e outros.

2.2- Percepção da qualidade ‘*craftsmanship*’.

O “*Craftsmanship*” é um termo especialmente usado na indústria automobilística para a qualidade relacionada à ausência de erros ou de defeitos em um produto ou serviço executado por uma pessoa ou grupo de pessoas com destacadas habilidades específicas. Estas habilidades podem ser refletidas na qualidade do projeto e na execução do item, ou seja, depois de concluído, o produto ou o serviço manifesta as especificações estabelecidas e as expectativas de quem o usa.

Neste trabalho, seguindo a conceituação da montadora em que se fez o estudo de caso, “*craftsmanship*” será definido como sendo qualidade percebida por quatro dos cinco sentidos do ser humano. São eles: a visão, audição, o olfato e o tato. Assim, pretende-se

que a execução do produto surpreenderá e dará prazer ao cliente final nestes quatro sentidos.

Os atributos que atenderiam ao conjunto dos quatro sentidos são:

Qualidade visual

- Expectativa visual / harmonia;
- Compatibilidade visual;
- Ajuste;
- Aparência gráfica e;
- Aparência da iluminação.

Qualidade do toque/sensação/ergonomia:

- Expectativa do toque;
- Expectativa funcional da sensação;
- Compatibilidade do toque/sensação;
- Operabilidade;
- Acessibilidade;
- Livre de esforços operacionais e;
- Livres de áreas cortantes.

Qualidade do som

- Expectativa sonora;
- Compatibilidade dos sons que são escutados;
- Livre de ruídos e rangidos; e
- Livre de ruídos de vento.

Qualidade do cheiro

Expectativa do cheiro;

Compatibilidade do cheiro

Livre de odores indesejáveis.

A montadora considera que estes quatro conjuntos de atributos são fatores determinantes no momento da compra de um veículo.

O tato, neste caso, é o que o cliente sente ao tocar no carro, no formato e no alinhamento harmônico entre as peças que devem estar livres de cantos vivos e cortantes, O fechamento de portas deve ocorrer sem esforços para fechamento, bem como o veículo deve apresentar facilidade de dirigir e alinhamento de direção, entre outros.

A visão é o que o cliente vê: ajustes corretos, sensação agradável na harmonia da coordenação entre os componentes, organização dos componentes, harmonia no projeto, entre outros.

A audição é a percepção de ruídos oriundos de um possível desajuste de portas, que poderá causar ruídos de vento, ruído de chapas trepidando, ruídos de portas, ruídos de peças soltas, rangidos e outros.

O olfato é a percepção de mau cheiro oriundo de uma possível abertura que pode ser devida a desajustes da carroceria (“*matching*” não perfeito entre peças de chapas da carroceria). Estas aberturas permitem a entrada de gases do motor ou a entrada de água com a eventual produção de causar mau cheiro.

Palavras associadas à beleza visual, sensação ao toque, montagem correta, robustez, sensação de alta qualidade, cheiro agradável, conforto, solução nitidamente inteligente, sensação de que foi bem feito justificam o carinho depositado no projeto e na fabricação do veículo. Estes são fatores decisivos no momento da compra do veículo.

A carroceria é uma das partes mais importantes do sistema do veículo, em termos de impacto na satisfação de clientes, sendo ela o convite inicial que chama a atenção do cliente para a compra do veículo.

O “*Craftsmanship*” se manifesta fortemente na carroceria do veículo. As carrocerias estão sendo constantemente redesenhadas a partir de uma plataforma existente ou de uma plataforma totalmente nova. Estas modificações ou redesenhos quase sempre requerem muito tempo, o que causa um grande impacto no desenvolvimento do veículo. Por esta razão, as modificações em carrocerias resultam no segundo maior custo no desenvolvimento do veículo, ficando atrás apenas do sistema motriz, sendo que o mesmo sistema é utilizado em varias plataformas de veículos, enquanto a carroceria é específica para cada modelo de veículo, elevando o impacto no tempo e no custo do desenvolvimento de um novo modelo. A primeira impressão dos clientes na consideração de futura compra de um veículo é baseada na aparência física, o “*design*”, que é o desenho da carroceria.

O objetivo de se ter o conceito de “*craftsmanship*” no momento da criação de um novo produto é incorporar as necessidades dos clientes durante as fases iniciais do projeto e cuidar para que durante a fabricação todos os pré-requisitos sejam cumpridos.

O “*craftsmanship*” esta alinhado ao modelo de qualidade de Kano, que é uma técnica da gerência de marketing da qualidade alinhada à satisfação do cliente (SINGLETON, 1998), possibilitando a utilização das informações obtidas pelas pesquisas e centrais de atendimento em melhorias reais no produto, de forma a buscar a satisfação do cliente.

A história da origem do “ modelo de Kano “para a satisfação dos clientes foi publicada no Jornal da Sociedade Japonesa de Controle de Qualidade (SERAKU, 1984) , onde são descritos três tipos de categoria de requisitos que influenciam a satisfação do cliente. São eles:

-Requisitos básicos (Indispensáveis) - exigências mínimas cujas ausências causarão o descontentamento, mas se forem cumpridas não aumentarão a satisfação dos clientes. Os clientes consideram estas exigências como pré-requisitos e são considerados importantes para o cliente somente se não estão presentes no produto. Em outras palavras, é a qualidade básica que um cliente espera e, se não for realizada, o cliente fica insatisfeito.

Para o cliente, esses requisitos já deverão estar embutidos nos produtos oferecidos, sendo, como mencionado, um pré-requisito. O fato de se dotar o produto com esses

requisitos não tornará o cliente mais satisfeito. No entanto, sem eles o cliente não adquire o produto.

Por exemplo, hoje, quando se compra um automóvel, espera-se que ele tenha um banco ajustável. Se não houver, o cliente ficará insatisfeito. Se houver, nenhum crédito adicional será dado, porque é pressuposto a existência daquele atributo.

-Requisitos lineares (Fatores de desempenho/competitividade) - Fatores que causam satisfação se o desempenho for elevado e causam o descontentamento se o desempenho for baixo. Estes fatores estão ligados diretamente às necessidades e desejos explícitos dos clientes, sendo um diferencial competitivo para a empresa que os adiciona a seus produtos.

Para eles, a satisfação do cliente é proporcional ao desempenho do produto. Estas exigências são as expectativas que os clientes esperam dos veículos.

Estes fatores são medidos por pesquisas com os clientes, para saber-se o nível de desempenho do produto e, assim, conhecer a “voz do cliente”.

- Requisitos Atrativos (Fatores de excitação/diferencial) - Fatores que aumentam a satisfação do cliente se adicionados, porém não causam o descontentamento se não forem adicionados. Estes fatores surpreendem o cliente e geram o “prazer”. Adicionando estes fatores ao produto, a empresa pode realmente distinguir-se de seus concorrentes de uma maneira positiva. São requisitos que induzem a um diferencial para cativar o cliente.

Na aplicação prática, os atributos aqui considerados nem sempre caem perfeitamente em uma das três categorias. Níveis muito altos de desempenho em relação às expectativas podem agir como atributos de excitação e proporcionar verdadeiras razões para escolher um produto em particular sobre o seu concorrente. Por outro lado, um recurso destinado à excitação, se mal executado, poderá causar insatisfação.

Com o passar do tempo, e com as empresas cada vez mais se atualizando, um atributo que hoje é considerado um atrativo pode vir a se tornar um atributo linear ou até mesmo básico.

Exemplo disto pode ser a quinta marcha, que era um diferencial ao se comprar um veículo passando a ser, algum tempo depois, um item básico.

A figura 04, a seguir, faz uma relação entre o preenchimento dos requisitos e o nível de satisfação do cliente:

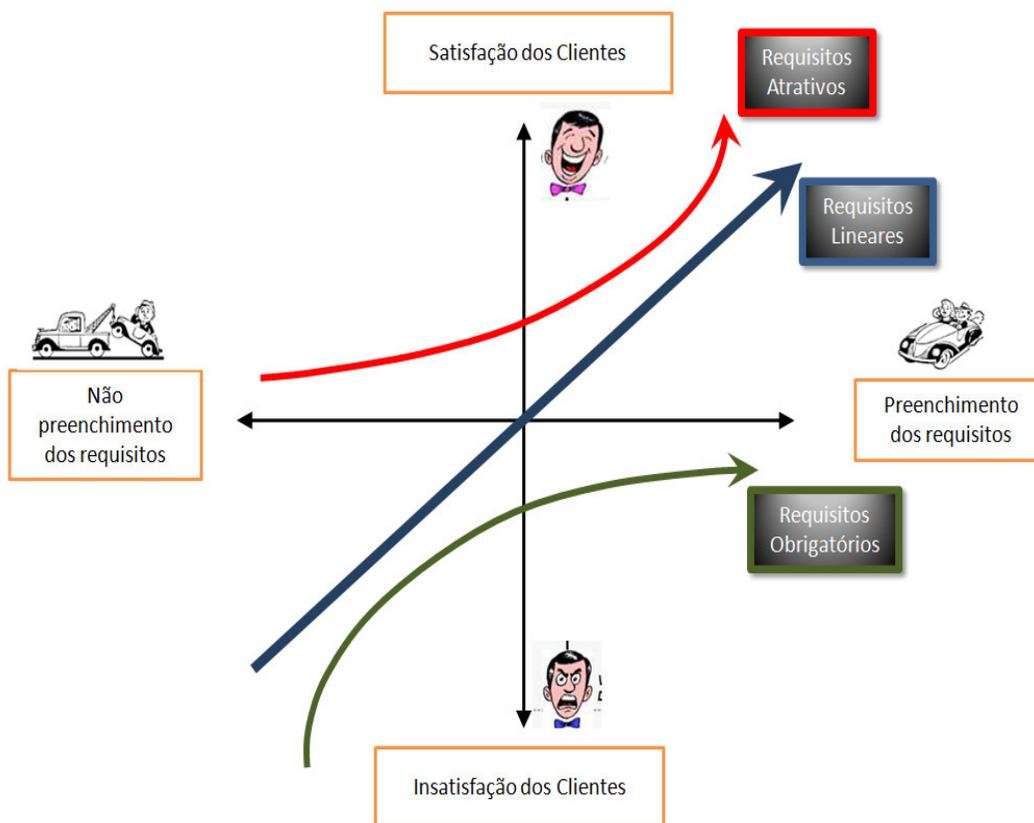


Figura 04- Estrutura do modelo de qualidade de N.Kano

Fonte: <http://www.kanomodel.com/>

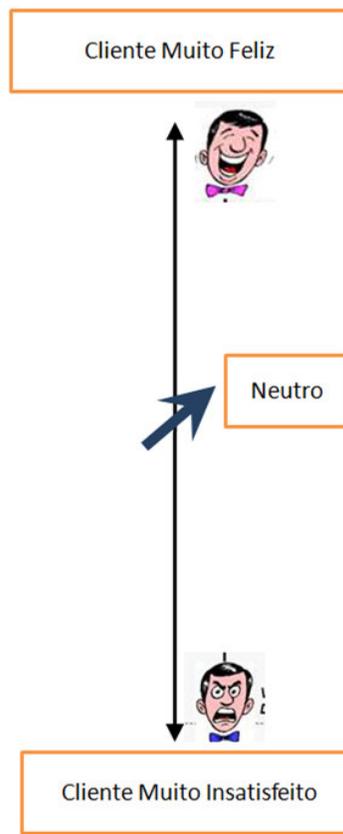


Figura 05- Estrutura funcional do modelo de qualidade de N.Kano

Fonte: <http://www.kanomodel.com/>

A Figura 04 mostra que os requisitos atrativos são os que têm maior capacidade de trazer satisfação ao cliente, porém essa satisfação só é conseguida quando ocorre o preenchimento dos requisitos obrigatórios, A figura mostra, ainda, a ordem de priorização desses tipos de requisitos sendo: obrigatórios, lineares e atrativos

Comparando-se a figura 04 com a figura 05, podemos dizer que as empresas para se manter no mercado, devem trabalhar acima da região onde existe o preenchimento dos requisitos obrigatórios onde o cliente está, pelo menos, neutro ou seja, nem satisfeito nem insatisfeito.

2.3- Conceitos de Qualidade.

Qualidade é questão importante e imprescindível no mundo da produção automotiva. Sua teoria e prática vêm sofrendo constantes e profundas alterações, deixando de lado o paradigma exclusivamente técnico, para alcançar níveis estratégicos nas organizações. Com a melhoria da qualidade, as empresas começaram a ter significativa redução de perdas, redução de desperdícios, redução de custos, cumprimentos de prazos de entrega, redução de retrabalhos e redução de reclamações, com reflexos favoráveis no seu desempenho, resultados e competitividade.

Geralmente, a estratégia de qualidade tem o intuito de procurar identificar as causas dos principais problemas e desenvolver um adequado plano de ação, com o objetivo de possibilitar à empresa o alcance das metas e a melhora do desempenho empresarial esperado através da melhoria de seus produtos e serviços.

Uma empresa, para ser competitiva, deve incorporar, como um todo a idéia de qualidade em tudo o que faz, ou seja, todas as pessoas devem ser responsáveis pela qualidade de um produto ou serviço. Isto requer esforços integrados em todas as fases do ciclo produtivo, desde a pesquisa das necessidades dos clientes até o levantamento da satisfação do cliente com o produto. Para tanto, a empresa deve desenvolver um trabalho cultural com seus empregados, orientando-os na direção do cuidado e carinho com a qualidade. A diretriz estratégica da empresa deveria refletir-se em uma política que tenha na qualidade o objetivo para todos na empresa (CERQUEIRA NETO, 1993). A estratégia para a qualidade começa no planejamento do empreendimento, mobilizando novas culturas e conscientização do pessoal,

O conceito de qualidade foi primeiramente associado apenas com a definição de conformidade às especificações e, posteriormente, evoluiu para a visão de satisfação dos clientes, Isto significa dizer que a qualidade não é somente o grau de conformidade com as especificações técnicas, mas um aspecto aliado a fatores como a pontualidade de entrega, condições de pagamento, atendimento do pré e pós-venda, e percepção dos clientes. Esta concepção de qualidade valoriza o carinho depositado durante o projeto, a execução e em tudo que o cliente valoriza e deseja no produto.

Dentro da indústria, em especial no desenvolvimento de produto, muitas vezes é necessário obter informações sobre produtos e processos empiricamente. Neste momento o trabalho das pessoas envolvidas com o problema no nível operacional assemelha-se ao de pesquisadores ou cientistas que precisam projetar experimentos, coletar dados e analisá-los. Experimentos são empregados para resolver problemas de fabricação, decidir entre diferentes processos de manufatura, diferentes conceitos de produto, entender a influência de determinados fatores, etc. Esta tarefa torna-se cada vez mais importante na medida em que se intensificam a base tecnológica dos produtos e as exigências governamentais e de clientes, aumentando a necessidade de emprego de experimentos durante todas as etapas do ciclo de vida do produto. Conforme se verá adiante, o presente trabalho promoverá uma verificação empírica com o propósito de subsidiar a empresa com dados destinados a melhorar a qualidade do produto.

Na indústria automobilística a qualidade, não poderia deixar de ser um diferencial de competição. A qualidade serve como guia para o planejamento estratégico dos negócios, para desenvolvimento de novos produtos, e para a melhoria contínua dos processos de produção, servindo como bússola para verificar para onde a empresa está indo, partindo do pressuposto que o cliente voltará a comprar o veículo quando perceber a qualidade, e o indicará, ou não, para outras pessoas ao seu redor.

“ Um cliente satisfeito influencia positivamente 5 novos clientes e um cliente insatisfeito influencia negativamente 20 clientes atuais e um cliente insatisfeito custa o lucro de cinco clientes satisfeitos.” Jag Sheth.

Um dos gurus da qualidade, W. Edwards Deming definiu que o conceito de qualidade está baseado no controle e na melhoria do processo e que o meio para se atingir a qualidade é através de decisões baseadas em dados e fatos, obtidos com o uso de técnicas estatísticas, (DEMING, 1996).

“*In God we trust; all others must bring data.*” “Em Deus eu acredito; e em todos os outros me dêem dados” (W. EDWARD. DEMING, 1986)

Para Genichi Taguchi (1990), a qualidade é a chave para minimizar as perdas não apenas para o cliente, mas para toda a sociedade. Para ele, controle da qualidade na linha de produção se refere às atividades diárias para se controlar condições do processo, observando-se tanto características da qualidade de produtos como parâmetros de processos. Sabe-se que todos os processos estão sujeitos a desvios, se os controles não forem postos em prática. Portanto, o objetivo do controle da qualidade na linha de produção é fabricar produtos uniformes, ajustando processos de acordo com parâmetros otimizadores. Com base nesta informação, a produção deve ser planejada para minimizar a perda da qualidade ou do custo. Sem se controlar o processo, não é possível controlar a qualidade de um produto.

De acordo com Taguchi (1987) os esforços de controle da qualidade devem começar na fase de projeto do produto e continuar durante as fases de engenharia da produção e fabricação. Desta forma, a qualidade e o custo de um produto são determinados pelo seu desenho e pelo seu processo de fabricação e devem ser incorporados no produto desde o início, e não através das inspeções (TAGUCHI, 1987).

Juran (1991) define qualidade como adequação ao uso. A palavra produto (bem ou serviço) refere-se à saída, '*output*', de um processo, sendo necessário encontrar o equilíbrio entre as características positivas do produto (oriundos projetos) e a não existência de deficiências no mesmo. (decorrente da produção). Essas características positivas não se referem a componentes luxuosos, mas, sim, a características técnicas do produto, que foi desenhado para corresponder às necessidades dos clientes. As deficiências causam problemas aos clientes e, portanto, provocam a sua insatisfação.

O cliente é qualquer pessoa que lida com o produto, incluindo os que o desenvolvem, considerados "clientes internos" e os que lidam com o produto acabado, denominados "clientes externos" (JURAN, 1991).

Para Crosby (1990), qualidade significa conformidade com os requisitos. A qualidade deve ser definida em termos quantitativos para ajudar a organização a agir com base em metas tangíveis. Para ele a qualidade deve ser medida regularmente através do custo da não qualidade que é provocado por se fazer as coisas mal executadas. O referido autor destaca a importância de se identificar zonas prioritárias, onde existem oportunidades de melhorias e, assim, ir aperfeiçoando os processos e os produtos (CROSBY, 1990).

Para Feigenbaum (1954), a qualidade é uma filosofia de gestão e um compromisso com a excelência. Este autor defende que a qualidade deve ser projetada e embutida no produto, não podendo ser obtida somente a partir da inspeção do mesmo. (FEIGENBAUM, 1954)

Segundo Ishikawa (1981) "praticar um bom controle da qualidade é desenvolver, projetar, produzir e comercializar um produto de qualidade, que é mais econômico, mais útil e sempre satisfatório para o cliente" (KRAUS, 1976).

Ferramentas básicas da qualidade envolvem, fundamentalmente, a eliminação de todas as causas de variações inaceitáveis no processo produtivo (HAYS, 1994). Para a determinação de causas de variações existem ferramentas como o diagrama de Ishikawa e a árvore de decisão, bem como histogramas de defeitos (PALADINI, 1995). De certa forma, todas essas ferramentas buscam desmembrar causas gerais em causas mais específicas. Nessas causas menores, mais simples, podem se introduzir ações que geram maior uniformidade do processo (PALADINI, 2000).

No caso de produtos mais complexos, como os automóveis, a qualidade geralmente está na percepção do produto, obtida por quatro dos cinco sentidos do ser humano, já citada anteriormente como "*craftsmanship*", que são provenientes de graus de liberdade e variações que impactam diretamente nos clientes finais. Desta forma se faz necessário conhecer as fontes de variações de forma a estabelecer meios de controle que minimizem tais variações, as quais devem ser prevenidas durante o projeto e controladas durante o processo de produção.

Os métodos e ferramentas de controle de qualidade aplicado adequadamente ajudam a garantir processos mais estáveis, dentro das especificações, reduzindo variações e perdas no processo produtivo, tais como retrabalhos e refugos de componentes.

“Uma diferença grande pode significar uma alta insatisfação do cliente, mas também uma grande oportunidade para a melhoria.

Uma diferença pequena pode significar uma baixa insatisfação do cliente, e conseqüentemente menor oportunidade de melhoria “

Howard S. Gitlow

Desvios da qualidade são gerados ao longo de todo o ciclo de vida do produto e não somente durante o processo de fabricação como também nas etapas de planejamento (PFEIFER, 1996). Infelizmente, muitos desses desvios são detectados e corrigidos somente durante a inspeção ou mesmo na utilização do produto, acarretando significativos prejuízos por retrabalho, refugo e/ou re-chamada de produtos (*Recall*).

Na tabela a seguir (PALADINI, 2000) podemos verificar que a compreensão da qualidade pode ser interpretada de maneira diferente por cada cliente e traduzida em ações infinitas pelas empresas, no sentido do atendimento às expectativas de seus clientes.

Adicionalmente, o conteúdo da tabela reforça a idéia de que mesmo dentro das especificações de projeto, o produto pode não atender as expectativas dos clientes.

E verdade que	Mas também e verdade que
Nem sempre os clientes definem, concretamente, quais são suas preferências e necessidades;	Isso não quer dizer que ele não tenha preferências e necessidades (embora não expresse claramente);
A qualidade é considerada como a falta de defeitos no produto ou no serviço prestado;	A falta de defeitos não significa possuir qualidade (o produto pode ter cores que um consumidor considera berrantes);
A qualidade nunca muda;	O consumidor muda. E rapidamente;
Qualidade e um aspecto subjetivo;	O subjetivo pode refletir posições praticas (um cliente gosta mais de uma cor de carro porque nela a sujeira aparece menos);
A qualidade identifica-se com capacidade de fabricação;	Produtos bem-feitos nem sempre atendem as necessidades ou nem sempre são adequados ao uso esperado;
A qualidade pode ser vista como um requisito mínimo de funcionamento;	Se você faz o mínimo, qualquer pessoa pode fazer o que você faz, o que gera considerável risco para a empresa;
A qualidade envolve a diversidade de opções que um produto ou um serviço pode oferecer a os seus clientes;	E necessário que o cliente não sinta que a “qualidade” do produto reside no excesso de penduricalhos (de utilidade quase nula);
Qualidade é uma área específica.	Ninguém pode omitir-se no esforço de produzir qualidade.

Tabela 3.1 – Compreensão da qualidade.

Fonte: PALADINI, 2000

2.4- Qualidade de carrocerias

Para a indústria automobilística, a qualidade se reflete através da satisfação dos clientes em relação aos produtos e serviços oferecidos pelas 7 principais áreas de uma montadora de veículos:

- Desenvolvimento de produtos;
- Estamparia;
- Construção de carroceria;
- Pintura,
- Montagem final de componentes;
- Força motriz (motor e cambio);
- Avaliação de Qualidade (pré entrega) ;e
- Marketing e serviços de pós venda.

A seqüência simplificada do processo de construção de carrocerias é a seguinte:

- Receber as peças estampadas;
- Dispor as peças de maneira organizada para cada subconjunto;
- Montar subconjuntos soldados com o uso de dispositivos de montagem;
- Montar carroceria com os subconjuntos recebidos, soldando-os com solda a ponto;
e
- Dimensionar carroceria para garantir geometria correta;

A carroceria é construída a partir de peças de chapas de aço estampadas de diferentes formas, tamanhos, tratamento superficial e espessuras, que dependem da sua função no veículo. A quantidade dessas peças varia de 120 a 300, dependendo do tipo e tamanho do automóvel. As espessuras das chapas de aço variam de 0,6mm a 4,65mm. Estas peças podem ser estruturais e não estruturais, e constituem cerca de 50% do total de componentes que integram um automóvel que pesa cerca de 500 kg, de maneira que a referida peças formam 44% do peso do veículo .

As peças estruturais são peças que pertencem à estrutura do veículo, como as longarinas dianteiras e traseiras, colunas das laterais, reforços, entre outras. Já as peças denominadas não estruturais são as portas, teto, capô, tampa traseira, entre outras.

Os conjuntos das peças estruturais formarão a estrutura fixa da carroceria, que irá garantir a geometria da mesma. Na estrutura fixa serão montadas, posteriormente as partes móveis, constituída por portas, capô e tampa da mala traseira (TAKESAWA, 1980).

A geometria da carroceria, definida pelas partes estruturais, sofre variações no processo, e estas variações podem vir a impossibilitar ou dificultar a montagem de componentes que serão agregados à carroceria. Estas variações são geralmente provenientes de alguns fatores pertinentes ao processo de construção da carroceria, tais como:

- Variações devidas ao retorno elástico durante o processo de estampagem.
- Variações devidas ao processo de soldagem;
- Variações associadas à habilidade do operador durante a montagem dos componentes;
- Variações devidas ao desgastes das ferramentas tanto, de estamparia como de soldagem da carroceria;
- Variações devidas ao empilhamento de tolerância; e
- Variações devidas à temperatura das peças.

2.5- Métodos de resolução de problemas mais utilizados pela montadora.

2.5.1- 5 Porquês.

O princípio é muito simples: ao encontrar um problema, deve-se realizar 5 interações perguntando o porquê daquele problema, sempre questionando a causa anterior.

O método é muito usado durante os *braintorms* e por isso o ideal é que as perguntas sejam feitas com a participação de toda a equipe, para que gere um debate em torno das verdadeiras causas do problema que esta sendo discutido.

Para Taiichi (1997) podemos chegar a causa do problema perguntando 5 vezes por quê e respondendo cada vez , podemos chegar a verdadeira causa do problema , que geralmente estão escondidas atrás dos sintomas mais óbvios.

Não é necessário que sejam exatamente 5 perguntas podendo ser menos ou mais, desde que se chegue à real causa do problema

Quando ocorre uma falha, a primeira coisa que precisa ser feita é repará-la. Logo após verificar o porquê da falha, providencias são tomadas para que a mesma não volte à re-ocorrer. Isto pressupõe o entendendo da causa raiz do problema.

Os passos são simples e consistem em:

Identificar o problema;

Identificar a causa do problema perguntando " porque o problema ocorreu?";

Perguntar para cada causa o porquê, criando assim um debate; e

Perguntar por 5 vezes uma para cada causa / motivo identificado com lógica as perguntas necessárias.

O método 5 porques promove os seguintes benefícios;

- Ajuda a identificar a origem de um problema;
- Determina o relacionamento entre as causas;
- É uma ferramenta simples e de fácil entendimento; e

- É possível fazer sem uma análise estatística prévia.

2.5.2 - 8 Disciplinas (8D).

A técnica 8D tem por objetivo promover ações eficazes nos processos de forma que eventuais problemas possam ser solucionados, forçando a solução definitiva. Uma das finalidades é a correção de problemas de forma ordenada, racional e disciplinada.

É uma metodologia de resolução de problemas complexos visando a melhoria contínua de um produto ou de um processo enfatizando a sinergia das pessoas envolvidas.

Originalmente foi desenvolvida pela Ford Motor Company que combinou vários elementos de outras técnicas de resolução como o diagrama de Ishikawa e os 5 Porquês. A metodologia foi introduzida na Ford em 1987 no manual de orientação do time para resolução de problemas (TOPS - *Team Oriented Problem Solving*). É largamente utilizada para reportar a análise de problemas (falhas).

É utilizada para identificação da causa raiz e deve estabelecer uma forma simplificada e ao mesmo tempo abrangente da solução de um problema ou análise de uma falha. Com essa metodologia é possível bloquear os problemas rapidamente e definir ações corretivas, definitivas eficazes

Os 8D's são:

D1 - Montar uma equipe de trabalho que será responsável pelas ações e que irá formular o plano de ação necessário, definindo prazos, resultados e responsabilidades;

D2 - Definir o problema ou desvio ocorrido, verificando o que foi afetado, levantando o máximo de informações possíveis para formar o plano de ações necessárias para corrigir o problema;

D3 - Implementar ações de contenção para parar as ocorrências, bloqueando interinamente o problema;

D4 - Identificar a Causa Raiz a partir das ações de contenções, usando-se geralmente o diagrama de Ishikawa para levantamento das causas básicas de desvio ou falha;

D5 - Desenvolver a solução permanente ou definição das ações corretivas permanentes, de forma a garantir o bloqueio dos problemas com eficácia;

D6 - Implementar a solução permanente e verificar a eficácia das ações corretivas permanentes de acordo com o que foi planejado, fazendo uma análise crítica dos passos definidos e seus resultados.

D7 - Prevenir a reincidência e verificar se a documentação do processo incorpora os resultados das análises, garantindo que todas as lacunas sejam fechadas, impedindo a reincidência;

D8 – Revisar os 7D anteriores e reconhecer a equipe responsável por todo o processo feito, observando se tudo foi contemplado.

2.5.3- FMEA-(*Failure Mode and Effect Analysis*)-Análise do Modo e Efeito de Falha.

È uma técnica analítica utilizada por engenheiros e suas equipes e busca, em princípio, evitar os problemas, por meio da análise das falhas potenciais que ocorram no projeto do produto ou no processo e propor ações de melhoria. Este é o objetivo básico desta ferramenta da qualidade, podendo-se dizer que com sua utilização, diminuem-se as chances do produto ou processo falhar, ou seja, busca-se aumentar a confiabilidade do produto ou processo.

O aumento de confiabilidade é conseguida identificando a severidade das falhas, determinando a probabilidade de ocorrências das mesmas, eo grau de dificuldade de detecção.

A seguir são propostas ações que reduzem ou eliminam os fatores e/ou riscos que promovem a ocorrência das falhas.

Apesar de ter sido desenvolvida com um enfoque no projeto de novos produtos e processos, a metodologia FMEA, pela sua grande utilidade, passou a ser aplicada de diversas maneiras. Assim, ela atualmente é utilizada para diminuir as falhas de produtos e processos existentes e para diminuir a probabilidade de falha em processos administrativos.

2.5.4- PDCA.

A Metodologia PDCA é aplicada para se atingir resultados dentro de um sistema de gestão, de forma a facilitar a resolução de problemas. O ciclo começa pelo planejamento em seguida, a ação ou conjunto de ações planejadas, verificação do plano de acordo com o planejado (repetidas vezes) e por fim, toma-se uma ação para eliminar, ou ao menos, minimizar o problema..

Os elementos do PDCA são:

Planejamento (*Plan*): fase do processo na qual é determinado como o problema será avaliado e resolvido;

Execução (*Do*): fase do processo onde a solução é implementada, avaliando-se o seu progresso;

Verificação (*Check*): fase do processo na qual os resultados são avaliados de forma crítica, respondendo-se às seguintes perguntas: O que aconteceu de certo? O que aconteceu de errado? Por quê?

Ações Corretivas (*Act*): fase do processo na qual as melhorias são obtidas no curso normal das operações e as ações futuras que são planejadas visando às oportunidades de melhoria.

Corrêa e Corrêa (2006) fornecem as seguintes síntese do ciclo PDCA:

Plan – planeje: “identifique um melhoramento e faça um plano”;

Do – faça: “teste o plano”;

Check – verifique: “o plano está funcionando?”; e

Act – aja: “implemente o plano”.

Servindo assim como um “passo a passo” simplificado para o uso desta técnica.

2.5.5- Seis Sigma.

Na década de 80, o presidente da Motorola, Robert Garvin, juntamente com sua equipe, criou o programa de qualidade batizado com o nome 6-sigma. O engenheiro da Motorola Bill Smith fez parte da equipe de Garvin e sua participação foi fundamental na percepção de que o controle da variação na produção poderia alcançar um resultado final de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, ou seja, a oportunidade de defeitos no nível 6-sigma.

Os resultados alcançados com o programa Seis Sigma estimularam vários estudos e pesquisas sobre o tema. Para McCarthy e Stauffer (2001), o seis sigma é a mais poderosa força para corporações que precisam mudar suas operações e seus processos de desenvolvimento de produtos e serviços. Empresas como a General Eletric, Motorola e Ford investiram, aproximadamente, 100 milhões de dólares em projetos Seis sigma, com expectativas de receber bilhões de dólares em contrapartida. A ênfase do Seis sigma está nos resultados financeiros e na possibilidade de eliminação de produtos e processos defeituosos. Segundo McCarthy e Stauffer (2001), acabou-se os dias da qualidade a qualquer custo. Atualmente, os programas de qualidade precisam trazer resultados mensuráveis.

De acordo com Jack Welch (2000) o Seis Sigma é uma filosofia de negócios que visa a obtenção de produtos virtualmente livres de defeitos.

As formas mais difundidas de aplicação dos programas seis sigma são o DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*) - Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar e o DFSS (*Design for Six Sigma*) - projeto para Seis Sigma sendo o primeiro destinado a gestão de processos e o segundo para a qualidade em projetos de produtos e serviços.

3.0 PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO E CONTROLE DIMENSIONAL DAS CARROCERIAS.

A fim de agregar informações necessárias a compreensão dos estudos realizados para cumprimento dos objetivos específicos do presente trabalho, este capítulo 3 traz uma descrição do processo de construção e do controle dimensional da carroceria.

3.1 - Processo de construção de carrocerias.

Conforme comentado no item 2.6 uma carroceria é formada por peças ou conjuntos de peças estampadas, estruturais e não estruturais. As peças e conjuntos considerados como estruturais são os principais elementos responsáveis pela estabilidade dimensional da carroceria (CEGLAREK, D. 1994). Porém, as peças não estruturais também influenciam nas variações dimensionais, principalmente as de pequeno porte e com grande número de formas. Dentre as peças estruturais que suportam peças a serem nelas montadas tem-se: As longarinas traseiras (*rear rails*), onde será montada o eixo traseiro; as longarinas dianteiras (*front end rails*), onde será montado o motor; o assoalho dianteiro e o painel corta fogo (*panel dash & front underbody*), onde serão fixados a transmissão e o trambulador; os reforços das laterais esquerda e direita, onde serão montadas as dobradiças que sustentam as portas laterais (*body side member & Pilars A,B,C and D*).

As partes não estruturais como, por exemplo, o painel lateral externo (*Body side outer*), teto (*roof*), painel externo do capô (*hood outer*), painel externo das portas (*door outer panel*), estão mais atreladas à estética do veículo, porém em muitos casos influenciam na geometria do veículo.

Após receber as peças estampadas inicia-se o processo de construção de subconjuntos e conjuntos da carroceria que serão unidos com o auxílio de dispositivos de montagem e solda a ponto. Estes conjuntos e subconjuntos são provenientes de dispositivos cativos ou linha de montagem e cada linha de montagem produz um conjunto principal ou subconjuntos que geralmente são quatro tipos:

(1) linha de subconjuntos pequenos, como por exemplo; o compartimento do motor, os reforços das laterais entre outros.

(2) linha de subconjuntos grandes que incorporam os pequenos vindos de linhas anteriores, que são geralmente o conjunto das laterais completas, eo conjunto do assoalho completo

(3) linha de construção da carroceria (*Body in White - BIW*); que é basicamente constituído do conjunto do assoalho completo, dos conjuntos das laterais completas e o conjunto do teto.

(4) linha de colocação de partes moveis que são as portas laterais dianteiras e traseira de ambos os lados, a tampa traseira o capo e o paralamas.

Em cada uma destas linhas temos o que chamamos de linha estrutural onde existem os dispositivos localizadores e as linhas não estruturais, onde apenas são completadas as quantidades de pontos de solda necessários para garantir a integridade de solda projetada para a linha de veículo.

Basicamente os processos utilizados em uma montadora são:

- Linhas estacionárias de solda onde são soldados subconjuntos pequenos;
- Linhas automáticas para subconjuntos maiores que incluem a geometria da carroceria e processo para completar os pontos de solda que garantirão a integridade estrutural da carroceria;
- Assoalho traseiro que incluem as longarinas traseiras e painel traseiro.
- Conjunto frontal onde se tem as longarinas dianteiras, painel corta fogo e a estrutura para fixação do pára-lama;
- Conjuntos das laterais direita e esquerda onde temos os pilares ' A ', 'B', 'C' e 'D' que são reforços que seguram as dobradiças e travas das fechaduras de fixação das portas;
- Assoalho completo onde se tem o conjunto frontal, o conjunto do assoalho traseiro, o assoalho dianteiro, e o painel traseiro;

- Linha automática para geometria e soldagem da carroceria que são onde se unem o conjunto do assoalho completo , conjunto das laterais esquerda e direita completas e conjunto do teto;
- Linha de avaliação geométrica através de uma máquina de medição por coordenadas sem toque e com medição das carrocerias, que normalmente são através de um sistema de medição sem toque;
- Linha para garantia da integridade de solda onde são completados os pontos de solda conforme determinado no projeto da carroceria;
- Linha de colocação das partes móveis, onde são instaladas as portas ,capo, tampa traseira e os pára-lamas esquerdo e direito; e a
- Linha de acabamento final onde são verificados amassados e danos em geral provenientes do processo de soldagem e também imperfeições provenientes do processo de estampagem.

Esta verificação geralmente é feita com o auxílio de óleo refletivo chamado de *hi-lite* ou uma lixa fina que é passada na carroceria a fim de auxiliar na visualização das imperfeições, como amassados, caroços, marcas de estampo, ondulações nas chapas etc...

Ver estrutura simples do processo de construção da carroceria:

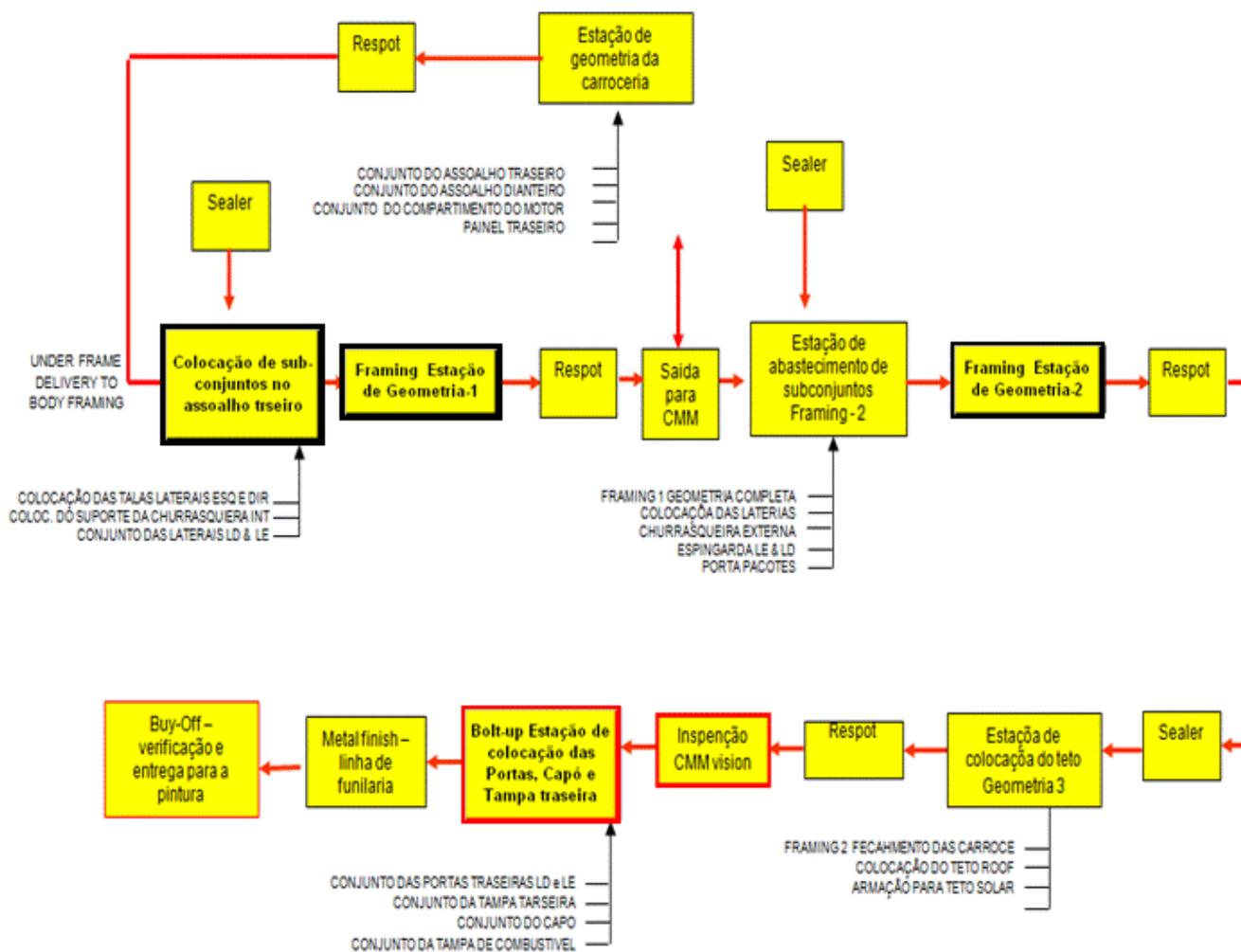


Figura 6- Fluxograma do processo de construção da carroceria.

Fonte: Criação própria

3.2 - Método de controle dimensional da carroceria.

Existem várias formas de fixar as peças antes de soldá-las que vamos chamar de "localizador", porém vamos nos limitar a falar sobre o sistema de localização das peças antes de soldar utilizados pela montadora em questão que são identificados como: furos localizadores, pinos localizadores, superfícies localizadora de apoio e cantoneiras localizadoras.

Os localizadores têm como principal foco reduzir o tempo requerido para implementar as melhorias dimensionais da carroceria durante e, após o lançamento dos veículos, padronizar os processos e o entendimento por parte do grupo multifuncional.

Os localizadores devem ser posicionados em uma região estável da peça, devem permanecer continuamente na mesma posição ao longo de todo o processo de construção da carroceria, devem estar presentes desde os conjuntos pequenos até os grandes e em cada peça destes as peças estampadas até os conjuntos maiores.

Observe na figura 07 que os localizadores vão desde as peças até o conjunto completo da lateral.

As posições dos localizadores são geralmente escolhidas levando em consideração os seguintes fatores;

- Locais onde o mesmo localizador possa ser usado durante todo o processo;
- Locais onde as peças podem ser processadas na mesma direção em cada operação subsequente;
- Locais possíveis de serem estabilizados, levando em consideração o acesso e a forma;
- Locais onde é esperado o mínimo de manutenção possível no ferramental; e
- Posicionamento em regiões da peça estáveis que geralmente não se modificam ao longo do processo.

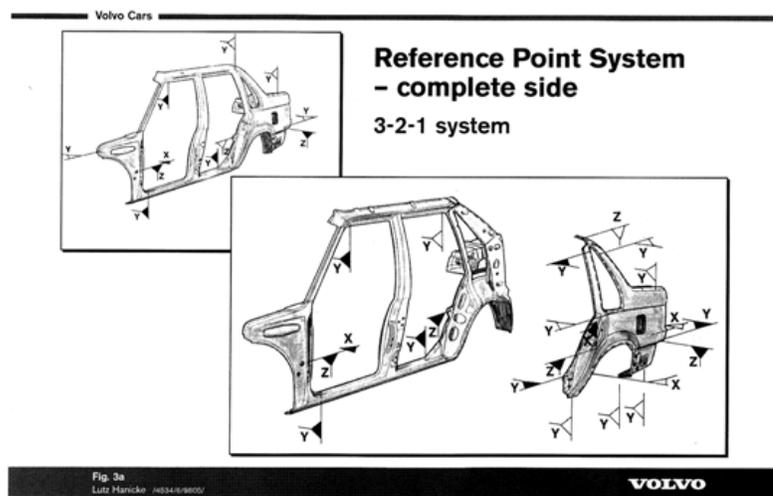


Figura 07 – localizadores em cada peça e conjunto de peça e referência dimensional para os 6 graus de liberdade (+X, -X,+Y, -Y,+Z, -Z) e sistema dimensional 3,2,1 (cada componente com seu sistema 3,2,1 que se relacionam entre si).

Fonte: Manual de instalação de laterais da

Os furos localizadores e as superfícies de referência são selecionados simultaneamente durante o desenvolvimento do produto e durante o planejamento preliminar do processo de construção da carroceria, facilitando sua compreensão e entendimento (MENASSA, R.J-1989).

Fica claro que o processo de construção de carrocerias nos leva à necessidade de termos forçosamente os pontos de referências iniciais. Estas referências são localizadas fisicamente na superfície externa das peças estampadas, de onde poderemos localizar ou fixar peças ou conjuntos, garantindo uma perfeita localização durante o processo de soldagem. Os pontos considerados referências iniciais, serão, posteriormente, utilizados para a inspeção física do conjunto em qualquer estágio do processo de fabricação. Assim, os valores dimensionais destes pontos, ou entre eles, permitirão avaliar as divergências encontradas nos diversos estágios do processo.

Estes localizadores másteres ou *datun* serão usados em todo o processo de construção da carroceria servindo, como referência para localizar as peças estampadas nos dispositivos de solda e dispositivos de controle.

Nas peças, os localizadores pertencem às seguintes categorias:

Furos Localizadores ou furos másteres - são furos que podem ser quadrados, ovais, diamantados ou retangulares. O furo master será usado para localizar uma peça ou conjunto em duas ou quatro direções. O furo máster tem sua localização dimensional partindo de uma referência, ou de uma coordenada do produto, com uma tolerância definida por projeto.

São geralmente identificados com a letra H (maiúscula), quando definem quatro direções e com a letra h (minúsculo) quando definem duas direções.

Superfícies localizadoras ou superfícies máster de apoio – são superfícies localizadoras geralmente definidas no projeto. Esta superfície é a área básica da superfície externa da peça unitária, a tolerância desta superfície normalmente é menor que a tolerância da peça em questão e deve estar em concordância com o desenho liberado pela Engenharia do Produto.

As Superfícies Máster de Apoio - são geralmente identificadas com a letra S (maiúscula) para as principais, que são aquelas auxiliadas por grampos fixadores, e com s (minúscula) , para aquelas que somente servem de apoio para a peça.

Nos dispositivos de controle e soldagem geralmente temos localizadores em forma de pinos, superfícies de apoio, cantoneiras e esfera de referência. As peças ou conjuntos são orientados pelos localizadores másteres que tem diferentes tipos, tamanhos e ângulos, cada um deles com sua específica coordenada XYZ e com os acessos requeridos. Os localizadores são dimensionalmente controlados em seu tamanho, forma, posição e pela relação entre si, o que garante a qualidade dimensional da carroceria.

Furos, pinos, cantoneiras e esferas localizadoras têm como objetivo controlar o componente em duas e quatro direções. Os furos e pinos podem ser retangulares, ovais, poligonais e retangulares.

Superfícies localizadoras- São utilizadas em conjunto com os furos/pinos localizadores, servindo para apoiar as superfícies másteres da peça, garantindo, assim a terceira direção.

O padrão direcional para uma superfície localizadora principal deve ser perpendicular a o furo ou pino, tanto para a peça, como para o dispositivo de controle e/ou soldagem. Nestas superfícies geralmente existem grampos para garantir a perfeita coordenação entre o dispositivo e a peça. Esta mesma sistemática deve ser usada em todas as operações subseqüentes.

As áreas escolhidas para serem adicionadas às superfícies localizadoras devem ser estáveis e livres de torções e modificações de processo, com acessos livres para colocação e retiradas das peças.

As superfícies secundárias também podem usar grampos, porém não poderão ser utilizadas para corrigir o retorno elástico (*spring back*).

Cantoneiras localizadoras são usadas em conjunto com os furos/pinos e superfícies localizadores, para garantir a correta posição do componente e são identificados com um E (maiúsculo)

Cantoneiras localizadoras posicionam componentes em apenas uma direção. Uma pressão deve ser aplicada para garantir a posição da peça contra o bloco em cada dispositivo de montagem ou controle, Ver exemplo da figura 8.

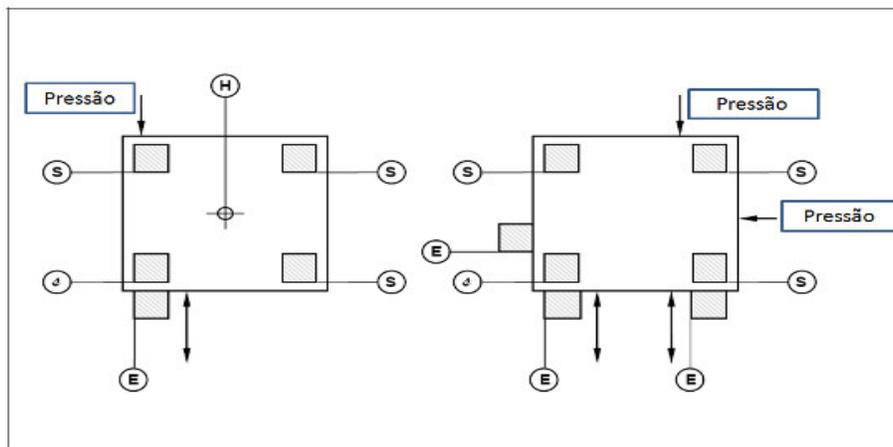


Figura 08. Cantoneira localizadora

Fonte: criação própria

O custo para implantação do método de localizadores másteres é pequeno e, em muitos casos nulos, pois o mesmo nasce durante a definição da estrutura do veículo. Para os subconjuntos, os localizadores másteres também nascem na fase do projeto.

Quando trabalhamos com veículos normais de linha, ou seja, os modelos correntes, os localizadores másteres, já liberados, são usualmente utilizados em outras linhas de veículos que já estão em produção tendo assim o seu custo reduzido, já que o método está implementado em toda a cadeia produtiva.

Para uma perfeita implantação do método de localizadores másteres, é conveniente que o trabalho seja definido por times multifuncionais durante o processo de desenvolvimento do produto, time multifuncional deve ter pessoas com atribuições nas seguintes áreas:

- Desenvolvimento do produto.
- Engenharia de manufatura – Estamparia.
- Engenharia de manufatura – Armação da Carroceria.
- Departamento de compras – Suprimento.

Ver figura 09 onde estão ilustradas as coordenadas de projeto e controle de carrocerias.

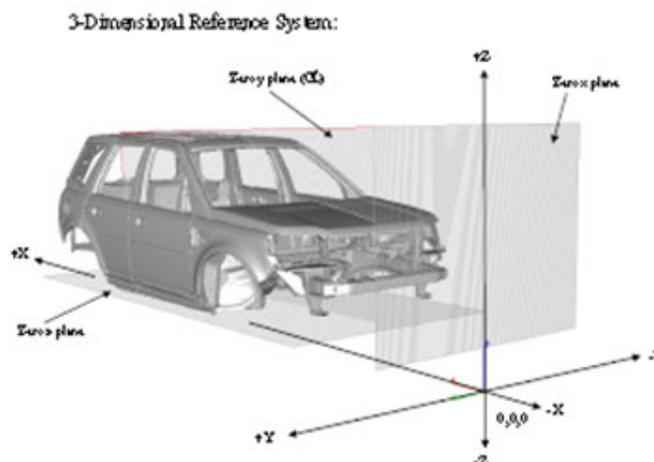


Figura 09- Referência dimensional para os 6 graus de liberdade (+X,-X ,+Y,-Y,+Z,-Z).

Fonte: Manual de medição de carrocerias da Land Rover 1ª edição. Volvo Cars - *Automotive handbook* 2004.

Símbolos dos localizadores primários (H, h, S, s, E) são estabelecidos ao longo das ferramentas de estampagem e do processo de construção das carrocerias, indo desde a primeira estação da estamparia até os dispositivos de controle.

Em casos especiais e usados um chanfro como localizador de um componente. Os chanfros podem ser usados como localizadores no lugar dos H, h e E, dependendo da necessidade de aplicação.

O Método de localizadores másteres é usado para garantir o processo de montagem das peças formando subconjuntos e conjuntos com a mínima variação possível limitando os 6 graus de liberdade de uma peça conforme as coordenadas da carroceria (+X,-X ,+Y,-Y,+Z,-Z),

Para o sistema de construção e controle dimensional dos dispositivos de soldagem e de controle de qualidade é usada a sistemática 3,2,1, que é um conceito de construção e controle da carroceria que utiliza os 6 graus de liberdade (+X,-X ,+Y,-Y,+Z,-Z) do sistema cartesiano ,ou seja, para se criar um plano são necessários no mínimo três (3) pontos no espaço;para se criar uma linha são necessários no mínimo dois (2) pontos que dará início a direção do plano e mais um ponto na intersecção da superfície e da reta considerando como ponto de partida. Entretanto, em muitos casos, são utilizados 3 ou

mais que pontos para determinação de uma superfície e, por isto, em muitas literaturas, são usados com $n,2,1$ onde n é o número de pontos que forma um plano e são usados para a programação de máquinas de medição por coordenada – CMM , o uso de números n de pontos em uma superfície na maioria das vezes ajudam na precisão da medição do componente.

O método de localizadores másteres está fundamentado na estabilidade dimensional da manufatura e na viabilidade de construção através da sistemática chamada de 3,2,1 ver figura 10

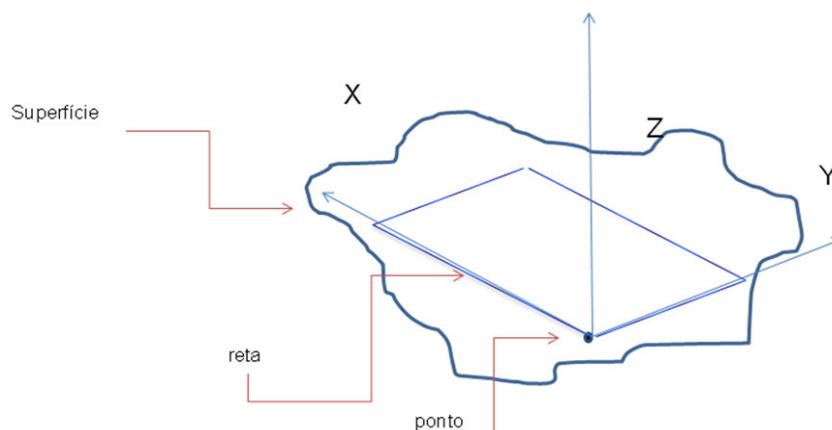


Figura 10- Referência dimensional para os 6 graus de liberdade ($+X,-X,+Y,-Y,+Z,-Z$).e ponto de referência criada no sistema 3,2,1 (3 pontos de superfície, 2 pontos de Reta e 1 ponto) *Fonte:Criação própria*

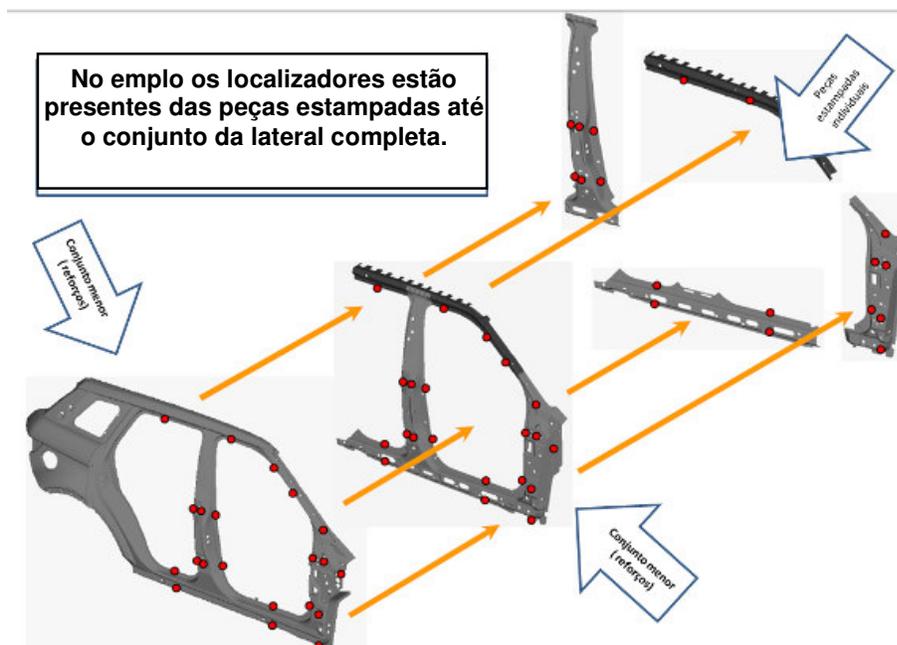


Figura 11- Exemplo de seqüência de localizadores.

Fonte: criação própria

A falta de controles e do uso dos princípios básicos como, 3,2,1 pode levar a grande quantidade de veículos não conformes sendo necessários reparos e ajustes após o processo de montagem ,atingindo negativamente na satisfação do cliente e até mesmo não permitindo, em alguns casos, a venda do veículos .

Assim o método apresentado neste parágrafo permite avaliar dimensionalmente todo o processo de construção da carroceria descrito no parágrafo 3.1, podendo-se detectar as divergências encontradas e corrigi-las previamente antes da montagem dos veículos

3.3 - Variações dimensionais da carroceria.

Um processo de construção de carroceria inclui dispositivos de montagem, robôs de solda, soldas manuais e manipuladores. Todos estes equipamentos influenciam de alguma forma as variações dimensionais da carroceria. Para avaliar em que parte do processo esta à variação, são necessários meios para medir e analisar cada etapa.

As principais fontes e variações da carroceria são, conforme já mencionado:

- Variações decorrentes do processo de estampagem;
- Variações decorrentes do processo de soldagem da carroceria; e
- Variações pertinentes ao empilhamento das tolerâncias (*tolerance stack up*).

Os seis meios mais usados para avaliar dimensionalmente as carrocerias (BARON, J 1992) são:

1-Dispositivo de controle com referências através de másteres de controle;

2-Dispositivos de controle tipo cintel;

3-Chapelonas que verificam as formas e posição das peças;

4-CMM (Máquinas de Medição por Coordenadas);

5-CMM Vision – (Máquina de Medição por Coordenadas através de Sistema laser ou lentes óticas), e;

6-Paquímetros e relógios comparadores (neste caso, hoje são utilizadas sondas que fazem a função do relógio comparador e do paquímetro).

Os dispositivos de controles (1) são equipamentos que tem como base o desenho da peça ou conjuntos a serem medidos e seu princípio de funcionamento está baseado no método 3,2,1 onde há pinos másteres , superfícies másteres , cantos geométricos, esferas de referência e cantoneira de referência, onde estão demarcadas as coordenadas de desenho -que utilizam o princípio do GT&D (*Global Tolerance & Dimensional*) para determinação de cotas e formas (CEGIAREK, D.- 1994).



Figura 12- Exemplo de dispositivo de controle

Fonte: criação própria, foto retirada de um dispositivo de controle existente em uma montadora de veículos.

Os erros de exatidão dos dispositivos de controle são dados de acordo com a tolerância de desenho da peças e pela tolerância de posição dos localizadores másteres existentes no dispositivo. Estes dois fatores contribuem de forma significativa para que as variações dimensionais gerem um acúmulo de erros que podemos chamar de "empilhamento de tolerância" (*tolerance stack-up*).

Os dispositivos de controle tipo cintel (2) servem para medir distâncias e vãos. Consistem em dois suportes e uma barra escalonada. Os suportes são mantidos na posição por meio de molas de fricção, e têm ajuste fino por meio de um pino giratório nas pontas com o objetivo de facilitar a medição. São geralmente utilizados para medir os vãos da carroceria, como exemplo, por exemplo, aberturas entre as laterais onde é montada a tampa traseira, aberturas entre pára-lamas, onde é montado o capô, abertura entre as longarinas, e outras.

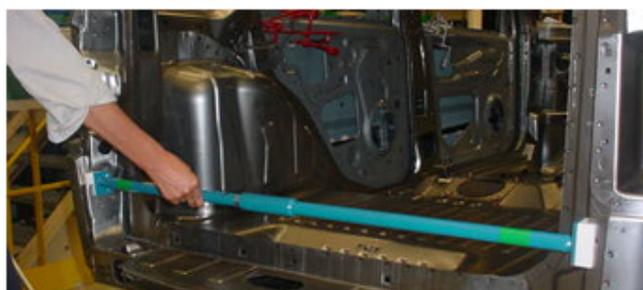


Figura 13- Cintel com barra de Aço escalonada

Fonte: criação própria

As chapelonas (3) são métodos de avaliações dimensionais subjetivas, e servem para comparar as superfícies projetadas versus as superfícies reais. As chapelonas são feitas geralmente em aço ou em resina com fibra de vidro, que copiam a superfície padrão, ou são usinadas a partir do desenho 3D da peça a ser avaliada. As chapelonas não informam os valores encontrados, apenas comparam as formas.



Figura 14- chapelona da forma de um pára-lama automotivo.

Fonte: criação própria

As CMM's (4) – (Máquinas de Medição por Coordenada) (ver figura 15 e 16), é um sistema de medição que fora introduzido na industria nos anos 60 (BROWN SHARPE COMPANY BOOK ,2008)

As CMMs são flexíveis e precisas. Em sua maioria tem precisão de 0,01mm, e sua flexibilidade se dá devido às mesmas possuírem capacidade de reprogramação a cada mudança do produto e a cada novo processo. A operação baseia-se em um programa CNC (*Computer Numerically Controlled*- Computador Numericamente Controlado) que tem como objetivo medir os pontos definidos ainda na fase de projeto. As CMM's comparam o valor nominal (secções ou pontos extraídas do desenho) com o valor real (físico medido na peça). As medições são feitas com o uso de sensores de toque que determinam a posição da peça. Os valores são comparados com os valores do desenho,

obtendo-se as respectivas diferenças entre o valor real versus o valor encontrado. Estas diferenças são definidas a partir do cálculo da coordenada definida no desenho e a coordenada encontrada fisicamente na peça (ver figura 16) .

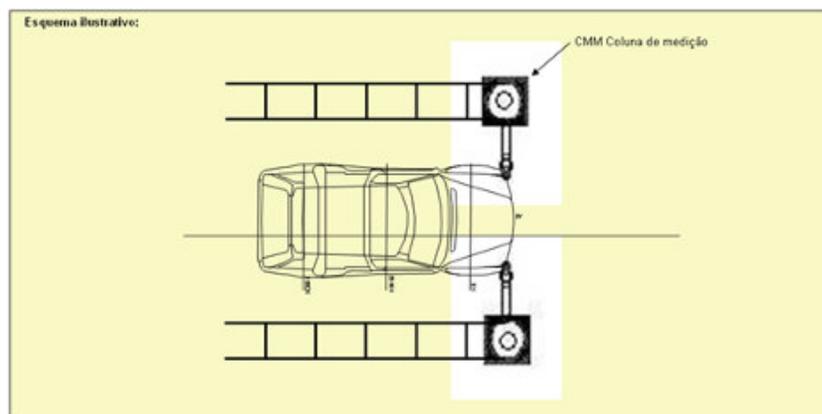


Figura 15- Exemplo esquemático de uma máquina de medição por coordenadas-

Fonte: Manual de instalação de uma CMM Brown Sharpe.



Figura 16- Foto de uma máquina de medição por coordenadas de duas colunas.

Fonte: criação própria, foto retirada de uma máquina CMM em uma montadora de veículos.



Figura 17- Foto de um resultado dimensional

Fonte: Criação própria.

As CMM Vision (Máquina de Medição por Coordenadas através de Sistema laser ou lentes óticas) (5) são rápidas e não usam o toque físico para medir. As medições são feitas por sensores de distância que medem a relação existente entre o sensor e o ponto físico a ser medido versus a referência inicial informada para máquina durante a programação. As CMM Vision têm menos precisão que as CMMs e apresentam como principal característica um menor tempo de medição. Com esta vantagem elas são geralmente usadas para medir 100% da produção.

Os paquímetros e relógios comparadores (6) são usados basicamente para medição de faceamento e abertura entre portas, entre carroceria e tampa traseira e entre o capô e pára-lamas. Porém, com a chegada de um equipamento chamado "Data Myte", hoje são menos utilizados. Este equipamento consiste de uma sonda que é introduzida na abertura dos componentes que permite medir simultaneamente as duas características (abertura e faceamento), Os dados são enviados automaticamente para um software que os coleta para análise posterior.



Figura 18- No lado Esquerdo da foto uma medição sendo executada com o auxílio de um relógio comparador e no lado direito da foto uma medição sendo executada com o auxílio de um *Data Myte*.

Fonte: criação própria

3.3.1- Variações dimensionais decorrentes do processo de estampagem.

No processo de estampagem existem variações dimensionais que impactam significativamente na geometria da carroceria, e para a maioria destas variações são criados métodos para eliminá-las ou reduzi-las durante o processo de construção. No entanto, muitas delas poderiam ser eliminadas ou reduzidas ainda no processo de estampagem. Abaixo são citadas as quatro principais fontes de variações:

- O retorno elástico (*spring backs*) das peças depois de prensadas, ver figura 19.
- Os pré-localizadores das chapas pré-recortadas (localizadores dos “*blanks*”);
- Folgas nas matrizes da ferramenta de estampagem;
- Localizadores másteres de uma operação para outra; entre outros.

3.3.1.1- O retorno elástico (*spring backs*) das peças depois de prensadas.

O retorno elástico é a tentativa da chapa de aço em retornar à sua forma original, logo após a deformação feita pela prensa. Em outras palavras, é a recuperação elástica da forma original da chapa, que se dá devido aos seguintes fatores:

- Profundidade da forma da peça a ser produzida, que, quanto maior, mais contribui para o retorno elástico;
- Espessura da chapa, que quanto mais fina mais promove o retorno elástico;
- Raio de curvatura, que, quando menor, mais produz o retorno elástico;
- Diferença de materiais na mesma chapa a ser estampada;
- Tipo de material e seu acabamento superficial; e
- Variações da quantidade de óleo utilizado no processo de estampagem.

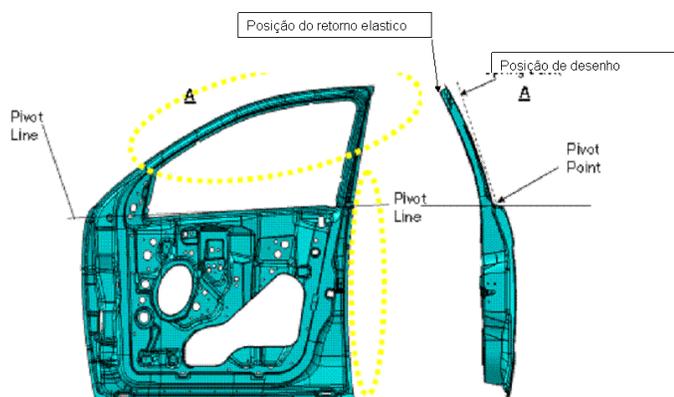


Figura 19- Retorno elástico após processo de estampagem de painel interno da porta.

Fonte: Figura extraída do software CATIA com demonstração própria.

A precisão da geometria final é uma questão crítica para a qualidade do produto, pois influencia no custo, no tempo de produção, na automatização dos processos de manufatura e na junção das peças para a soldagem da carroceria.

Se o efeito do retorno elástico não for corretamente controlado, o mesmo afetará adversamente a precisão da carroceria e, por conseguinte, a montabilidade dos componentes. Este fenômeno surge como sendo a principal fonte da variabilidade dimensional e da falta de precisão observada nos componentes estampados.

Quando é definida uma geometria final para um componente estampado, é imprescindível considerar o retorno elástico, e se faz necessário proceder a alterações adequadas na geometria das ferramentas de estampar, nos parâmetros do processo e até mesmo no projeto da peça em si, para minimizar o retorno elástico. O controle do retorno elástico geralmente se dá a partir do controle dos parâmetros de processo, dos quais o mais significativo é a pressão de estampagem, observada por meio de marcadores de pressão (marcas de punções na peça)

Como foi dito o retorno elástico também deve ser considerado ainda no projeto da peça e do ferramental, onde se podem minimizar seus efeitos, por intermédio de cálculos e simulações computacionais.

3.3.1.2- Os pré-localizadores das chapas pré-recortadas (localizadores dos "blanks");

Os pré localizadores são guias usados para orientar as chapas retangulares ou quadradas ("Blanks") durante o início do processo de estampagem. Este início geralmente se dá com furos másteres iniciais para o processo de estampagem.

As variações destes localizadores podem levar à falta de material em uma extremidade da peça ou engripamento do "Blank" e assim à deformação da peça.



Figura 20- localizador de "blank" em uma ferramenta de estampagem.

Fonte: Dissertação de mestrado acadêmico: Aplicação de Ferramental Rápido para Conformação de Chapas Metálicas Autor: Valdemir Alves Júnior -2003

3.3.1.3- Folgas nas matrizes da ferramenta de estampagem;

Existem métodos, usados pelos fabricantes de ferramentas de estampagem, que possibilitam fazer o ajuste dentro da prensa, com a possibilidade de compensar diferenças de espessuras dos "blanks" através de ajustes da força de estampagem que podem ser visualizadas pelas marcas deixadas pelos pisadores que são as áreas onde se dão o final de curso entre as matrizes e o punção. Além disto, existe a possibilidade do redimensionamento do *Blank* para de evitar o acúmulo de matéria em algumas áreas.

Alguns problemas de qualidade também se dão devido às folgas e desgaste natural da ferramenta, e isto vai depender do tipo de material com que foram construídas as ferramentas e da quantidade de peças estampadas.

3.3.1.4- Localizadores másteres de uma operação para outra

Durante o processo de estampagem existem varias etapas, que geralmente são chamadas de famílias de ferramentas (matrizes e punções). Estas etapas irão depender da complexidade dimensional da peça. Cada matriz e punção têm o seu próprio localizador máster que devem estar nas mesmas coordenadas geométricas, um em relação ao outro.

A variação dimensional existente entre um localizador e o outro pode vir a prejudicar a geometria da peça e causar o *spring back*.

A figura 21 mostra um localizador para início de estampagem de um painel interno da porta e um localizador máster que será usado durante todas as etapas de estampagem soldagem e montagem de componentes do veículo

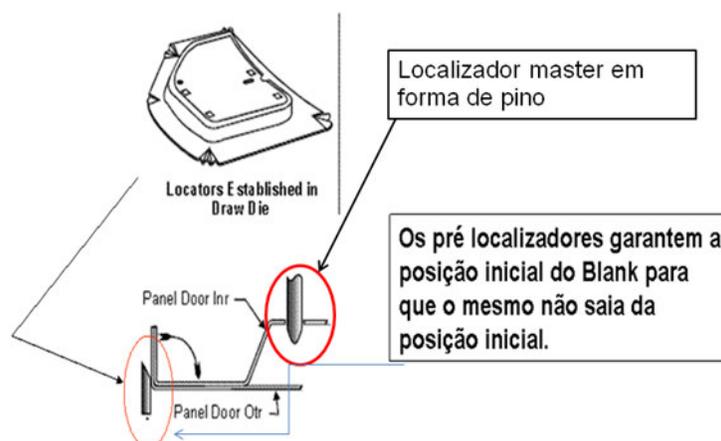


Figura 21- localizador de um blank do painel interno da porta.

Fonte: Folha de processos de porta Eurogan SA

3.3.2- Variações decorrentes do processo de soldagem da carroceria.

As carrocerias são construídas a partir de peças estampadas e soldadas com o auxílio de dispositivos de construção com geometrias pré definidas no projeto. Estes dispositivos podem ser manuais ou automáticos. A junção das chapas se dá inicialmente por

pontos de solda através da união de materiais mediante o emprego de calor e/ou força, com ou sem material de adição. Esta junção inicial é feita por pinças de solda manuais (denominadas estacionárias), e/ou pelos robôs de solda automática responsáveis pela qualidade de integridade de solda da carroceria. Além da soldagem por resistência ou solda ponto, existe a soldagem a laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*); a soldagem por deposição pelos processos MIG (*Metal Inert Gas*) e MAG (*Metal Active Gas*), e, em alguns casos, colagem com adesivos estruturais como as massas estruturais, chamadas de *sealers*, usadas em áreas onde não existe acesso para que a operação de soldagem seja efetuada ou onde há dificuldade para vedação na pintura.

Com a localização das peças obtidas com o auxílio de dispositivos de montagem, que são ajustados de acordo com o desenho de produto, inicia-se o processo de soldagem, que a depender da necessidade e disponibilidade inicia-se com a solda a ponto ou com MIG/MAG.

Os pontos de solda geralmente deformam as chapas, pois cada peça possui sua própria referência e sua própria tolerância dimensional, e, portanto, sua própria geometria. Isto significa que o nível de variação das mesmas é um indicador crítico para uma montadora de veículos, devendo ser priorizado dentro do sistema de qualidade da montadora.

As principais fontes de variações das carrocerias durante o processo de soldagem são:

- Deformações das chapas durante o processo de solda a ponto, onde a pinça de solda deforma as chapas para fundi-las;
- Variações devidas ao desgaste de dispositivos de montagem e soldagem dos componentes;
- Variações devidas ao retorno elástico das peças durante o processo de soldagem;
- Variações devidas ao empilhamento de tolerâncias existentes em cada peça (*tolerance stack-up*); e
- Variações devidas à seqüência de soldagem e de montagem das peças estampadas pelo operador ou pelos robôs;

A soldagem por resistência tem crescido enormemente desde a primeira chapa automotiva soldada, a qual foi introduzida em 1933. Tornou-se o processo

predominante na montagem das carrocerias automotivas, com uma média de 4500 pontos soldados em cada veículo (AGASHE, 2003, AWS, 1997). Esses pontos de solda são distanciados entre 30 a 50 mm, a depender da geometria das peças e da necessidade da estrutura.

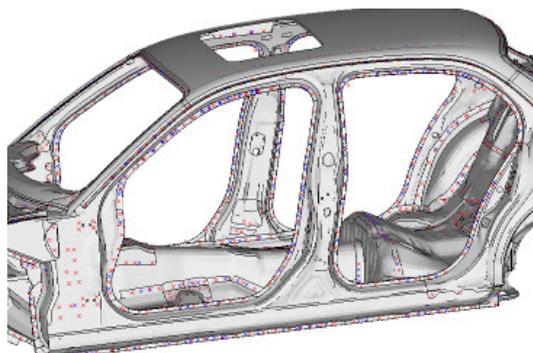


Figura 22- Carroceria (*Body in White – BIW*) com as posições dos pontos de solda.

Fonte: Manual de aplicação de solda a ponto FMC 2ª edição 2008

Para controlar as variações dimensionais durante a construção da carroceria usa-se o conceito de localizadores, como já citado anteriormente, que são referências usadas no processo de construção das carrocerias e na montagem dos componentes.

Existem dois tipos de localizadores os pré localizadores e os localizadores másteres. Os pré-localizadores são usados para guiar as peças estampadas (ver figura 20) na colocação das mesmas no dispositivo de soldagem e sua principal função é evitar danos á superfície da chapa e variações dimensionais grosseiras. Já os localizadores másteres são usados para determinar a posição geométrica exata da peça estampada durante o processo de soldagem dos subconjuntos e dos conjuntos a serem soldados para a formação da carroceria. O posicionamento estes geralmente é facilitado por grampos que levam a peça até a coordenada de desenho imposta pelos localizadores (ver exemplo da figua 23).



Figura 23-Dispositivo de solda de um componente do compartimento do motor.

Fonte: Foto retirada em uma linha de soldagem de uma montadora.

A variação nos localizadores másteres poderá gerar um erro sistêmico que prejudica a geometria da carroceria. A sua precisão inicial é um fator determinante para evitarmos os erros sistêmicos.

O processo de solda a ponto também tem uma participação significativa na variação dimensional, pois ao soldar uma peça a outra para a formação do conjunto ou subconjunto existe uma deformação da chapa que é característica do processo de solda a ponto. O mesmo é previsto durante o projeto do veículo e deve ser controlado durante toda a construção da carroceria através dos ajustes dos dispositivos de geometria que garantem a coordenação das peças estampadas (*matching*) e da localização dos pontos de solda conforme desenho do produto.

As máquinas de solda que deformam as chapas são compostas por meios hidráulicos, pneumáticos, magnéticos ou mecânicos e são responsáveis pela aplicação da força com que os eletrodos fazem a junção das peças estampadas. Dai decorre a deformação que provoca o retorno elástico (*spring back*), que é similar ao causado durante o processo de estampagem (ver figura 23).



Figura 24- Exemplo de falta de coordenação entre as chapas (*Matching*).

Fonte: criação própria.

O sistema mecânico de uma máquina de solda a ponto deve garantir que a velocidade de aproximação dos eletrodos seja rápida, porém controlada, de forma a não deformar por demais a área soldada e também garantir a integridade da solda.

O controle da integridade da solda, que é a capacidade de junção das chapas é feita por 3 processos:

- Através de medidores por ultra-som que medem a espessura da chapa após soldada. A aprovação se é feita quando o processo garante que não há espaços entre as duas chapas soldadas como.
- Através do método de teste de caldeamento não destrutivo ("*Pry-bar*") que consiste em colocar uma barra de metal entre os pontos de solda e abrir para verificar se a mesma não solta na região da solda.
- Através do método teste de caldeamento destrutivo ("*Tear Down*") que consiste em colocar uma barra de metal entre os pontos de solda e abrir para verificar se a mesma não solta na região da solda rasgando por completo a chapa e destruindo a peça avaliada, idêntico ao processo de "*pry bar*" porém neste é destruído a peça.

A frequência de medição para cada método citado acima depende basicamente do histórico de problemas, tamanho da linha, criticidade do componente a ser soldado na estrutura da carroceria e do acesso ao ponto de solda a ser avaliado.

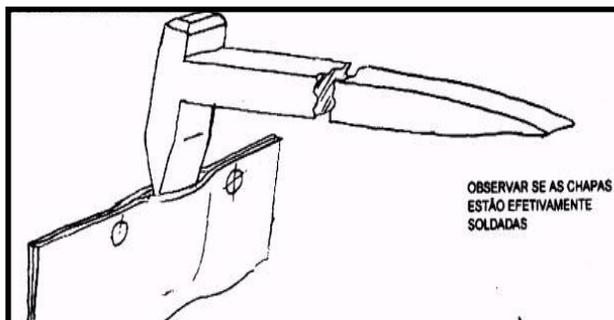


Figura 25- Processo de teste de solda não destrutivo

Fonte: Instrução de trabalho de uma montadora.

3.3.3- Variações pertinentes ao empilhamento das tolerâncias ("*tolerance stack up*").

Como forma de se evitar o acúmulo de variações dimensionais e o empilhamento das tolerâncias (*tolerance stack up*), cada fase do processo de construção da carroceria é dimensionada, partindo do mesmo ponto de referência (*datun*), desde a medição da peça estampada até a carroceria completa.

O sistema de fabricação baseia-se no controle dimensional onde cada peça ou conjunto de um produto final deve ser produzido de acordo com as especificações definidas pela Engenharia de Produto quanto às dimensões, forma e acabamento.

O empilhamento de tolerância (*tolerance stack-up*) é definido como fenômeno das somas lineares dos componentes, conjuntos e subconjuntos, ou seja, é que o acúmulo das tolerâncias tanto para o máximo como para o mínimo que podem resultar em interferência ou folga.

A capacidade de se garantir a menor variação dimensional é proporcional ao número de peças e a somatória das tolerâncias dada para cada peça e ao comportamento geométrico dos componentes que formam os conjuntos.

A figura 26 demonstra como é feito o cálculo de limite de empilhamento, no caso, a somatória das peças tem valor nominal de 15,0mm e tolerância de +/-1,5mm, por tanto a peça pode estar com o tamanho máximo de 16,5mm e o mínimo de 13,5mm. Uma alternativa mais realista é apresentada na figura 27 onde é demonstrado o cálculo de empilhamento fazendo uso do RSS (raiz da soma dos quadrados das tolerâncias das peças). Nesta figura observa-se que o valor nominal de 15,0mm e tolerância de +/-1,5mm, fica com o tamanho máximo de 14,9mm e o mínimo de 15,91mm sendo mais próximo dos valores utilizados na industria.

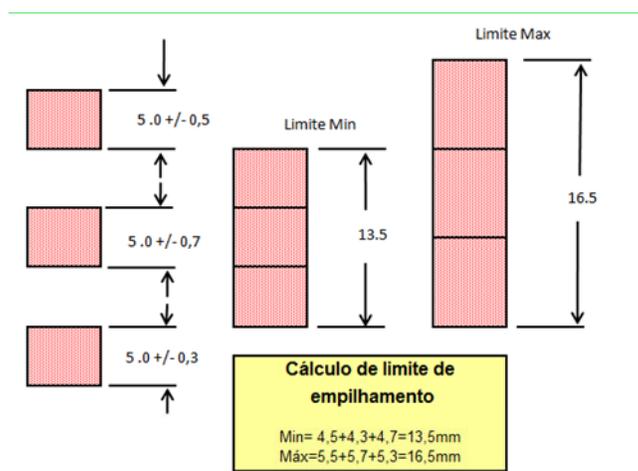


Figura 26. Cálculo de tolerância onde não são considerados os erros estatísticos.

Fonte: Criação própria

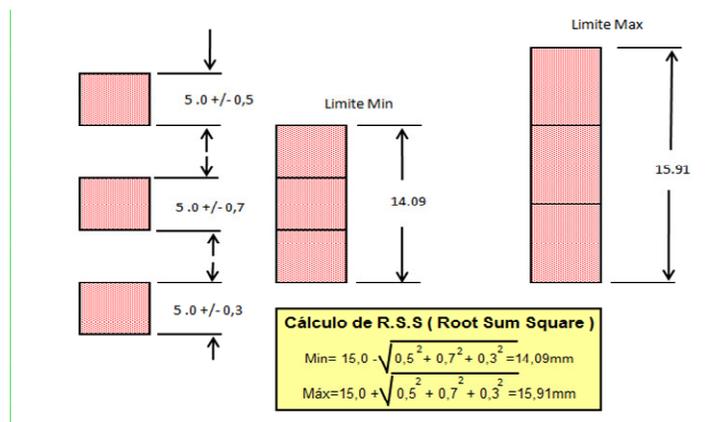


Figura 27. Cálculo de tolerância onde são considerados os erros estatísticos.

Fonte: Criação própria

4.0 - METODOLOGIA

4.1- Etapas do trabalho.

A figura 28 mostra as etapas da metodologia adotadas neste trabalho.

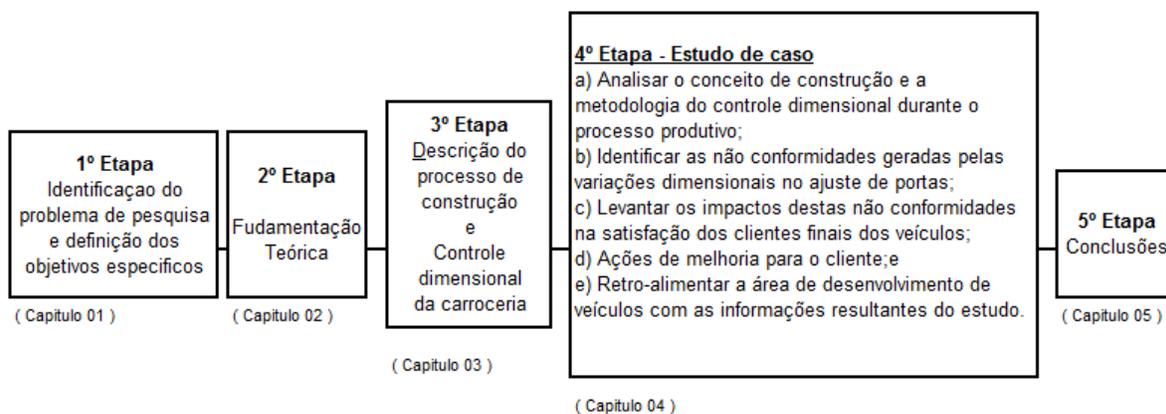


Figura 28. Etapas metodológicas utilizadas para o desenvolvimento da dissertação.

Fonte: criação própria

4.2- Identificação das não conformidades.

Foram abordadas as seguintes não conformidades, definidas a partir da visão do cliente:

- Falta de uniformidades e de faceamento nas aberturas entre as portas e a carroceria;
- Ruídos de vento na região das portas; e
- Esforço excessivo de fechamento das portas.

4.3 - Impacto das não conformidades na satisfação dos clientes.

As não conformidades acima referidas foram detectadas pelos clientes durante o uso do veículo e reportadas à empresa por intermédio de pesquisa de campo feita trimestralmente pela empresa.

Foram utilizadas neste trabalho 360 respostas de clientes consultados, detectando-se o seguinte:

- 14 clientes consideraram o ruído de vento na região das portas não satisfatório;
- 12 clientes consideraram a falta de uniformidades nas aberturas e faceamento das portas dianteiras não satisfatórias; e
- 11 clientes reclamaram da dificuldade de abrir e fechar as portas.

Estes aspectos haviam sido aprovados pelo controle de qualidade da empresa, visto que atendiam as especificações de projeto do produto.

4.4- Ações de melhoria para o cliente.

Para reduzir a falta de uniformidades e de faceamento nas aberturas entre as portas e a carroceria foram feitos ajustes manuais para melhorar os aspectos visuais.

Para o ruído de vento houve uma modificação na furação da região das portas que possibilitou um ajuste que atendia aos clientes, eliminando-se os ruídos.

Já para controlar o esforço de porta foram feitos controles de 100% da produção.

4.5 - Retro-alimentação da área de desenvolvimento de produto.

A retro-alimentação dos resultados das melhorias do produto para a área de desenvolvimento de produto foi feita através dos seguintes meios:

- Atualizações dos FMEAS;
- Minuta de reunião das avaliações críticas da qualidade;
- Participação de membros do time de desenvolvimento de produtos no time que promoveu a melhoria do produto; e
- Listas de lições aprendidas (*lesson learned*).

5.0 - ESTUDO DE CASO.

5.1 - Tratativa dada aos problemas de campo.

Durante a pesquisa de satisfação os clientes verbalizaram os itens com os quais estão insatisfeitos. Estas verbalizações foram imputadas em um banco de dados e avaliadas durante as análises críticas dos problemas reclamados pelos clientes.

As reclamações resultaram nos estudos abaixo para detectar o porquê das mesmas.

Quando as verbalizações não estão claras, são contatados os clientes novamente para entendimento do problema e em alguns casos agendado um encontro com o mesmo para esclarecer as eventuais dúvidas.

Após o entendimento do problema foram agendadas reuniões com um time multifuncional, onde foram avaliadas estratégias para ações de contenções e ações definitivas para os problemas reclamados.

Os problemas reclamados foram classificados como significativos, pois envolvem requisitos de produto importantes para a satisfação dos clientes.

Para a resolução de tais problemas, foram seguidas disciplinas de resolução de problemas para a tomada de decisões, que foram:

- Cinco porquês;
- 8 Disciplinas / espinha de peixe;
- PDCA; e
- Seis sigma.

Uma vez identificadas às ações a serem tomadas através das ferramentas acima citadas foram feitos preventivamente os FMEAs.

Os FMEAs foram documentados e levados em consideração a cada mudança do produto e processo, e serviram também para alimentar as informações para os novos produtos a serem projetados, ou seja, foram incluídas em uma lista de "*lessons learned*" (lições aprendidas).

Após a avaliação e definição do problema, foram definidos os procedimentos para efetuar as ações de contenções e as ações definitivas no processo de produção. Após tomadas as ações foram revisados os planos de controle e incluídos os novos meios de controle para evitar a reincidência do problema.

Durante um período de 90 dias os problemas foram acompanhados pelo time para avaliar a eficácia da ação.

5.2- Identificações do problema do estudo de caso.

Este estudo de caso apresenta o tratamento dado às reclamações dos clientes quanto aos ruídos de vento na região das portas dianteiras e à aparência visual. O problema ocorreu durante a fase de lançamento de um veículo do tipo Sedan (três volumes) e foi detectado analisando os dados das pesquisas de campo em uma das avaliações críticas efetuada durante as reuniões de qualidade da montadora.

Foram avaliadas as reclamações dos clientes usuários de veículos com mais de 3 meses de uso e certificou-se a existência de reclamações por partes dos mesmos .

As reclamações resultaram em vários estudos para detectar o porquê das reclamações de 14 para cada 360 clientes finais quanto ao ruído de vento proveniente da região das portas, 12 para cada 360 clientes finais quanto à falta de uniformidades nas aberturas e faceamento das portas dianteiras e de 11 para cada 360 clientes finais reclamaram da dificuldade de abrir e fechar as portas.

Analisando as verbalizações e avaliando os dados de medições das aberturas e faceamento das portas, foi possível verificar que as portas estavam conforme a especificação de engenharia, porém existia uma variação proveniente do processo de montagem.

5.3- Resolução do problema.

Para a falta de uniformidades e de faceamento nas aberturas entre as portas e a carroceria e o esforço de fechamento das portas o time multifuncional definiu a adição de operadores para o ajuste manual das portas e inspetores para a liberação conforme o desenho do produto, atendendo assim as especificações de projeto máximas e mínimas.

A decisão do ajuste manual das portas e o controle do esforço de abrir e fechar as porta em 100% da produção e foi feita com base em *benchmark* (referenciais de excelência) entre várias plantas da mesma empresa, onde o ajuste manual de portas e a avaliação de esforço faz parte do processo de aprovação do produto.

Para o ruído de vento o time multifuncional iniciou os passos para a resolução do problema.

O primeiro passo para o entendimento claro do problema se deu enviando 15 veículos para o campo de provas, para uma avaliação dinâmica, levando em consideração as descrições dos problemas feitas pelos clientes.

A avaliação dinâmica consistiu em dirigir a unidade em velocidades entre 80 a 120 km/h em uma pista reta, com o uso de sensores na região citada pelos clientes. Foram também colocados sensores para medição de ruído em um boneco que simula um passageiro no banco dianteiro. (Ver figura 29).



Figura 29- Microfone na região do ruído de vento e em um boneco simulando um passageiro em um veículo.

Fonte: Foto retirada durante a avaliação na pista de teste.

Durante a avaliação dinâmica dos veículos foi possível observar que o ruído estava surgindo da região da coluna "A" e da região dos pára-lamas. A severidade do ruído foi avaliada com método subjetivo onde existem 3 classificações:

Nível 01 - Qualquer cliente pode escutar o ruído;

Nível 02 - Clientes exigentes podem reclamar; e

Nível 03 - Clientes normais " não especialistas " não escutariam ou reclamariam do ruído, somente "especialistas", detectariam o problema.



Figura 30. Região do ruído de vento

Fonte: criação própria

Dos 15 veículos inicialmente testados obtiveram-se os seguintes resultados:

- Apenas 03 veículos apresentaram o problema classificado como nível 02, ou seja, clientes exigentes reclamariam do ruído;
- 04 veículos tiveram o problema classificado como nível 03, àquele que somente especialistas escutariam.

O time multifuncional foi acionado e várias ideias foram levantadas para avaliar as potenciais causas que poderiam levar ao ruído de vento naquela região, este levantamento de ideias chamamos de *brainstorm*.

Com o *brainstorm* foi possível montar uma espinha de peixe para determinar o motivo do ruído de vento (causas potenciais).

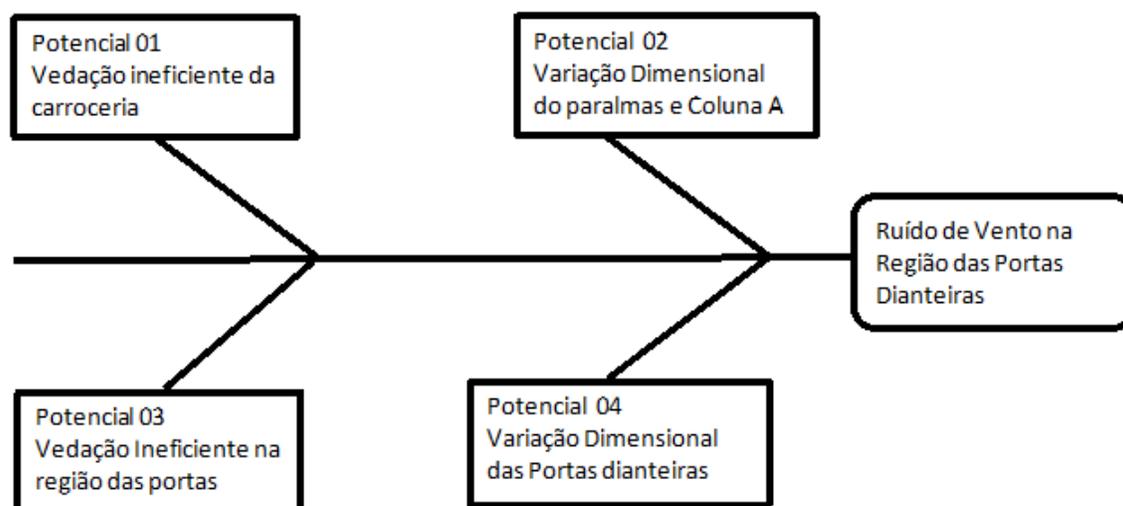


Figura 31. Diagrama de causa e efeito

Fonte: criação própria

Como causa potencial 01 foi levantada a hipótese da existência de algum furo de passagem de peças ou de chicote elétrico, problemas de faceamento entre portas, coordenação entre peças " *matcinhg* " e ou falha na vedação da carroceria durante o processo de pintura.

Para essas causas potenciais existe no plano de controle da montadora, uma avaliação de vedação diária que consiste em injetar ar comprimido com vazão conhecida e medir o quanto sai da carroceria. Além de infiltrar-se o ar comprimido, também utiliza-se um equipamento que produz fumaça branca, para verificar eventuais locais de onde possa sair a fumaça. Esta avaliação é feita em veículos já montados quando são retirados os pára-choques, as mantas anti-ruído do compartimento do motor para facilitar a visualização das áreas onde saem a fumaça e, ou ar comprimido.

Analisou-se, então, o histórico dos testes feitos internamente, em que os valores são diariamente registrados em uma Carta de Tendência unilateral. Nessa carta somente o valor máximo de vazão permitido é indicado.

Apenas um veículo, em 120 unidades testadas, apresentou valor de vazão acima do valor máximo especificado em projeto, ver foto do teste na figura 32 e Carta de Tendência na figura 33.



Figura 32. Avaliação de entrada e saída de ar na carroceria.

Fonte: criação própria

Foram feitas avaliações em todos os 15 veículos e todos estavam dentro do limite especificado. Além disso, foram feitas inspeções visuais nas áreas suspeitas de vedação pobre e não se diagnosticaram problemas em potencial.

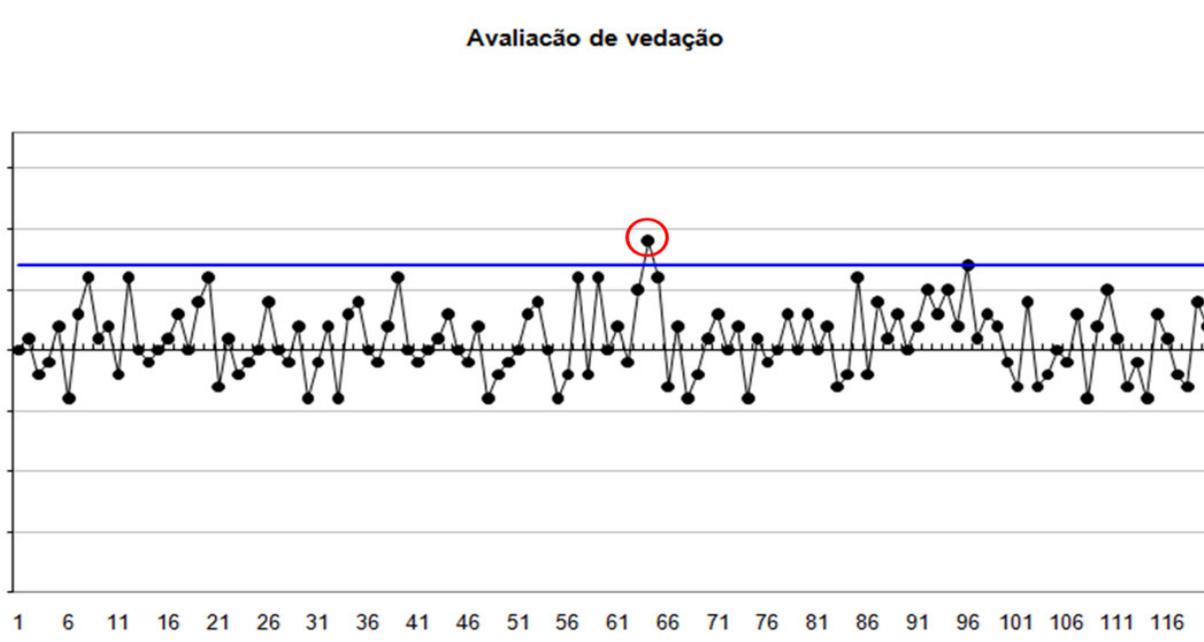


Figura 33. Carta de Tendência

Fonte: criação própria

Partiu-se, então, para a causa potencial 02, que é a da existência de problemas dimensionais das peças estruturais e partes móveis.

Com o uso do equipamento *Data Myte* e de uma CMM portátil, foram medidas as posições geométricas dos pára-lamas, portas, capuz e da coluna A. Sendo detectados desvios dimensionais. Tais desvios foram corrigidos através de ajustes manuais em 7 veículos avaliados dinamicamente que apresentaram ruído de vento. Os 7 veículos foram re-testados e voltaram a apresentaram o ruído, porém agora 01 deles com nível 02 e os outros 06 com nível 3.

Avaliou-se, então, a causa potencial 03, ou seja, vedação entre a carroceria e a porta. Inicialmente mediu-se o perfil da guarnição de borracha de vedação e sua dureza. Foi montada uma guarnição de borracha conforme especificações de engenharia na carroceria, visto que para medir a guarnição de borracha seria necessário retirá-la da carroceria e isto poderia influenciar negativamente a análise, retirando a evidência do problema.

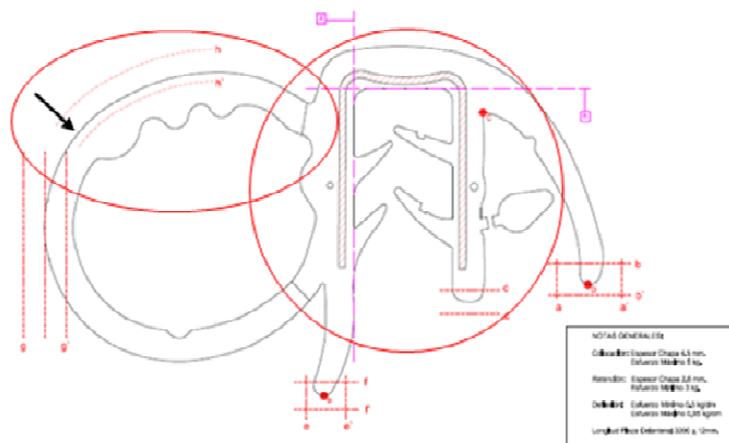


Figura 34. Avaliação desenho do perfil da borracha de vedação das portas.

Fonte: criação própria

Logo após a troca se avaliou o contato entre a guarnição de borracha de vedação e a carroceria, com uso de gís. Este teste consiste em passar um gís em toda a parte metálica que encosta na guarnição de borracha de vedação e verificar se em algum ponto não houve marcação de gís na guarnição de borracha ao fechar a porta (Ver figura 35).



Figura 35. Avaliação desenho do perfil da borracha de vedação das portas.

Fonte: criação própria

Novamente o problema de ruído de vento entre 80 e 120 km/h se repetiu nos 7 veículos inicialmente avaliados e afetados pelo ruído ,

Partiu-se então para a avaliação da causa potencial 04, inicialmente medindo-se a distância entre a porta e a carroceria, onde a tolerância é de mais ou menos 2,0 mm. Esta tolerância é dada de acordo a capacidade de vedação da borracha.

Também foram medidas as aberturas e o faceamentos entre as portas dianteiras e traseiras, entre a portas dianteiras e o pára-lamas e entre as portas dianteiras e as colunas "A". Estas medições são feitas com o uso do equipamento *Data Myte* e todas estavam dentro das especificações de projeto.(Ver dados no Anexo I E II).



Figura 36. Avaliação dimensional da abertura entre a porta dianteira e a lateral na região da coluna "A"

Fonte: Criação própria

Em razão da conformidade das medidas com o projeto do produto, concluiu-se que o produto estava conforme o projeto, porém não atendiam as expectativas dos clientes.

Resolveu-se, então, aprofundar as análises, realizando um novo *brainstorm*.

Durante o novo *brainstorm* surgiram três novas idéias para avaliações:

- A primeira avaliação consistiu em aumentar a amostra de avaliação dinâmica de ruído de vento de 15 para 30 veículos;
- A segunda avaliação previa colocar uma fita crepe nos veículos que apresentaram o ruído de vento em toda a porta dianteira, vedando totalmente a abertura entre a porta e o pára-lamas, entre a porta dianteira e a coluna "A" e entre as portas dianteira e traseira em ambos os lados.;
- A terceira avaliação consistiu em avaliar a diferença dimensional existente entre os veículos com ruído de vento e os que não tinham o ruído de vento.

Então partiu-se para a primeira idéia que consistiu em avaliar mais 15 veículos dinamicamente, e o resultado foram de mais 7 veículos com ruído de vento, sendo;

- 03 de nível 02; e
- 04 de nível 03.

Concluiu-se, então, que 06 clientes poderiam vir a reclamar da amostra de 30 veículos testados (nível 02) e que mais 08 tinham o potencial para reclamações (nível 03), por parte do cliente (Ver anexo II).

Para realizar a segunda avaliação, vedaram-se com uso de fita crepe nos 14 veículos que apresentaram o ruído de vento na região da porta dianteira, obstruindo-se totalmente as aberturas entre a porta e o pára-lama, entre a porta dianteira e a coluna "A" e entre as portas dianteiras e traseiras em ambos os lados, vedando-se, assim, todo o contorno das portas.

Nesta situação os veículos foram submetidos a um novo teste dinâmico nas mesmas condições anteriores.

Esta avaliação resultou que nenhuns dos 14 veículos apresentaram o ruído de vento novamente. Conclui-se então que o ruído realmente estava nesta região das portas dianteiras, entre os pontos 1 e 3 da figura 37 abaixo (Ver Anexo IV).

Retirou-se a fita crepe de todo o contorno da porta do veículo com exceção da região dianteira da porta e do paralamas, ou seja, na região da coluna "A" e a porta dianteira.

Foi feito novo teste dinâmico e verificou-se que não houve ruído de vento. Isto evidenciou que o ruído de vento é oriundo da região dianteira das portas.

Na terceira avaliação foram verificados dimensionalmente alguns pontos da carroceria para detectar eventuais diferenças entre os veículos que tinham ruído de vento e os que não tinham ruído de vento. Os pontos medidos foram definidos conforme a figura 37.

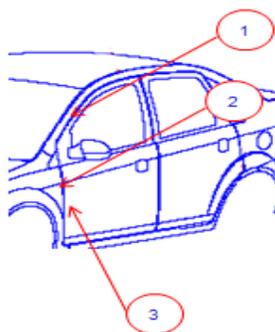


Figura 37. Pontos definidos pelo time.

Fonte: criação própria.

Nos pontos 1, 2 e 3 , mediram-se respectivamente as seguintes características:

- O faceamento entre as portas dianteiras e os pára-lamas;
- O faceamento entre as portas dianteiras e as colunas "A"; e
- As aberturas entre as portas dianteiras e a carroceria.

Com os valores foram geradas Carta de Tendência avaliando cada ponto medido. Estas Carta de Tendência contendo os valores medidos e as tolerâncias superiores e inferiores de cada característica, as medições foram efetuadas no lado esquerdo e lado direito do veículo. (Ver figura 38).

Após gerar todas as Carta de Tendência pode-se constatar que todas as características estavam dentro da especificação de desenho, não havendo pontos fora dos limites inferior e superior da especificação de desenho.

No entanto observou-se que os veículos que apresentaram ruído de vento tinham valores de faceamento sempre acima de 0,5mm, vide figura 38 e tabela do anexo II.

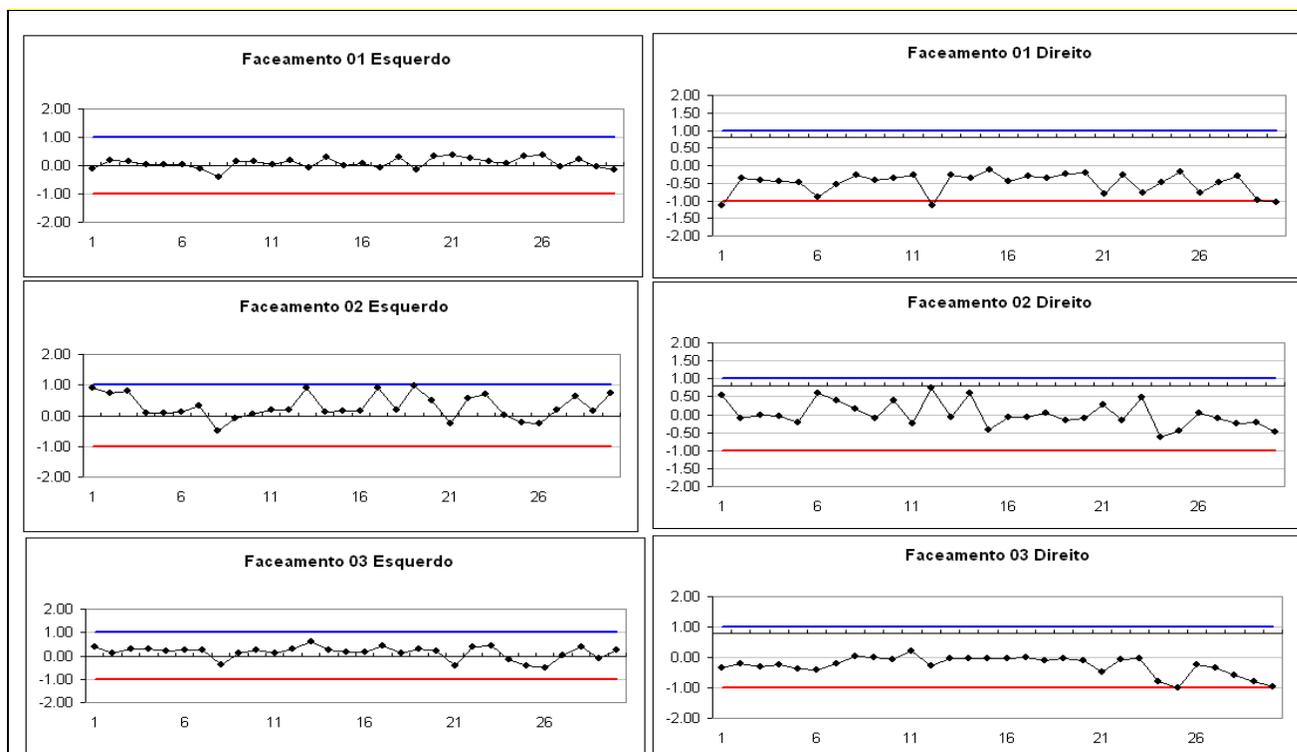


Figura 38. Cartas de tendência dos pontos 1, 2 e 3 tanto o lado esquerdo como do lado direito.

Para verificar se a análise acima estava correta o time decidiu fazer uma avaliação separando os valores medidos das unidades not Ok das unidades OK, tomando como base as cartas de tendência onde mostra o ponto onde existem os maiores desvios.

Estes valores foram colocados em um gráfico para facil visualização, onde foi possível verificar que todos os valores abaixo de 0,5mm não apresentaram problemas de ruído de vento. (ver figura 39).

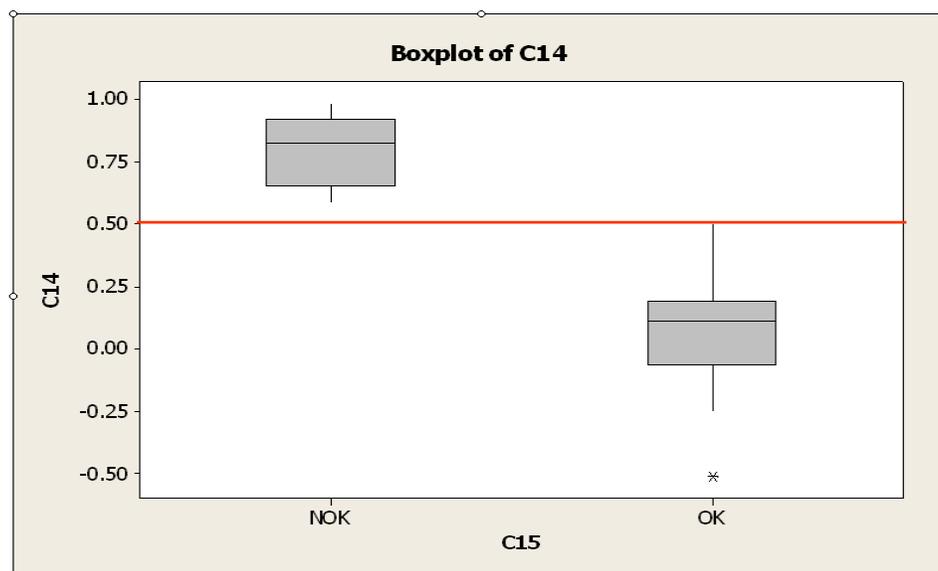


Figura 39. *Box Plot*

Fonte: criação própria.

5.4 – Avaliação e conclusões do re-teste dos veículos.

Agora conhecendo-se as características dimensionalmente dos veículos que apresentaram o ruído de vento, foram ajustados e medidos os pontos de faceamento superiores a 0,50mm, que conforme o anexo IV eram apenas os valores encontrados no ponto 02 de ambos os lados e do veículo.

È possível verificar no anexo III e IV que após os ajustes dos 14 veículos com ruído de vento e dos demais veículos testados estavam com as medidas conforme especificação tanto para a abertura entre as portas e a carroceria como para o faceamento.

Estes 14 veículos foram re-testados nas mesmas condições iniciais e nenhum deles voltou a apresentar o ruído de vento.

Constatou-se então que mesmo com as características dentro do desenho e de sua tolerância previamente estabelecidas existia o ruído de vento.

Houve também a preocupação em se avaliar como estava se comportando o esforço de fechamento das portas antes e depois das melhorias propostas, visto que existiam dados das medições por amostragem para este requisito, conforme plano de controle da montadora.

5.5 – Contenção do problema e ação definitiva.

Concluindo que todas as portas que estavam com o faceamento acima de 0,5mm em relação ao pára-lama (ponto 02 da figura 37) irão ter ruído de vento de níveis 02 ou 03, por tanto se faz necessário conter internamente o problema para não atingir a satisfação dos clientes externos.

Esta ação aumentou 30% a quantidade de veículos retidos internamente para reavaliações e ajustes. As unidades eram retidas e retrabalhadas manualmente para um valor de aproximadamente -1,0mm (*). Este valor foi definido para a contenção do problema até que o time multifuncional definisse a ação definitiva para o problema.

Foi feita a matriz de causa e efeito (ver figura 40) pelo time para avaliar onde era possível se fazer a melhoria para que a porta ficasse com faceamento máximo de 0,5mm no sentido de -Y.

Matriz de Causa e Efeito				
Importancia para o Cliente	9	7	5	
Entradas	ruído de vento	Faceamento da porta com paralamas	Vedação da porta	T o t a l
Desenho permite faceamento positivo	9	9	5	169
Processo de ajuste das portas e variações nos dispositivos de montagem	9	9	1	149
Guarnição da porta não Veda	7	1	9	115

Legenda	
1	Baixo Importancia
5	Media Importancia
7	Alta Importancia
9	Altissima Importancia

Figura 40. Matriz de Causa e Efeito

Fonte: criação própria

(*) O valor negativo significa que o ajuste de faceamento era na direção -Y (para dentro do veículo), tomando como referência o para-lamas.

Conforme a matriz de causa e efeito avaliou-se os seguintes aspectos:

1- Desenho permite faceamento positivo;

2-Variações no processo de ajuste das portas e variações nos dispositivos de montagem dos para-lamas; e

3- Guarnição da porta não veda a carroceria.

Como o produto já estava com as ferramentas de estampagem das portas, e de soldagem tanto dos componentes da coluna "A" como das peças de fixação dos pára-lamas totalmente pronto não seria possível trocar-los ou modificá-los. Assim como não seria possível naquele momento modificar o desenho, passou-se para o segundo item da matriz.

O segundo item de prioridade da matriz era o ajuste das portas após montagem. Este item já tinha sido testado anteriormente com ajustes manuais, sendo assim viável.

O terceiro item poderia ajudar na melhoria do produto, mas as guarnições já estavam vedando corretamente a porta. Porém caso fosse necessário aumentar a vedação o time identificou que corria o risco de aumentar o esforço ao fechar portas dianteiras, conforme foi possível identificar nas medições de esforço ao fechar a porta feitas antes e depois dos ajustes manuais das portas, ver anexo II e anexo IV no item esforço de porta.

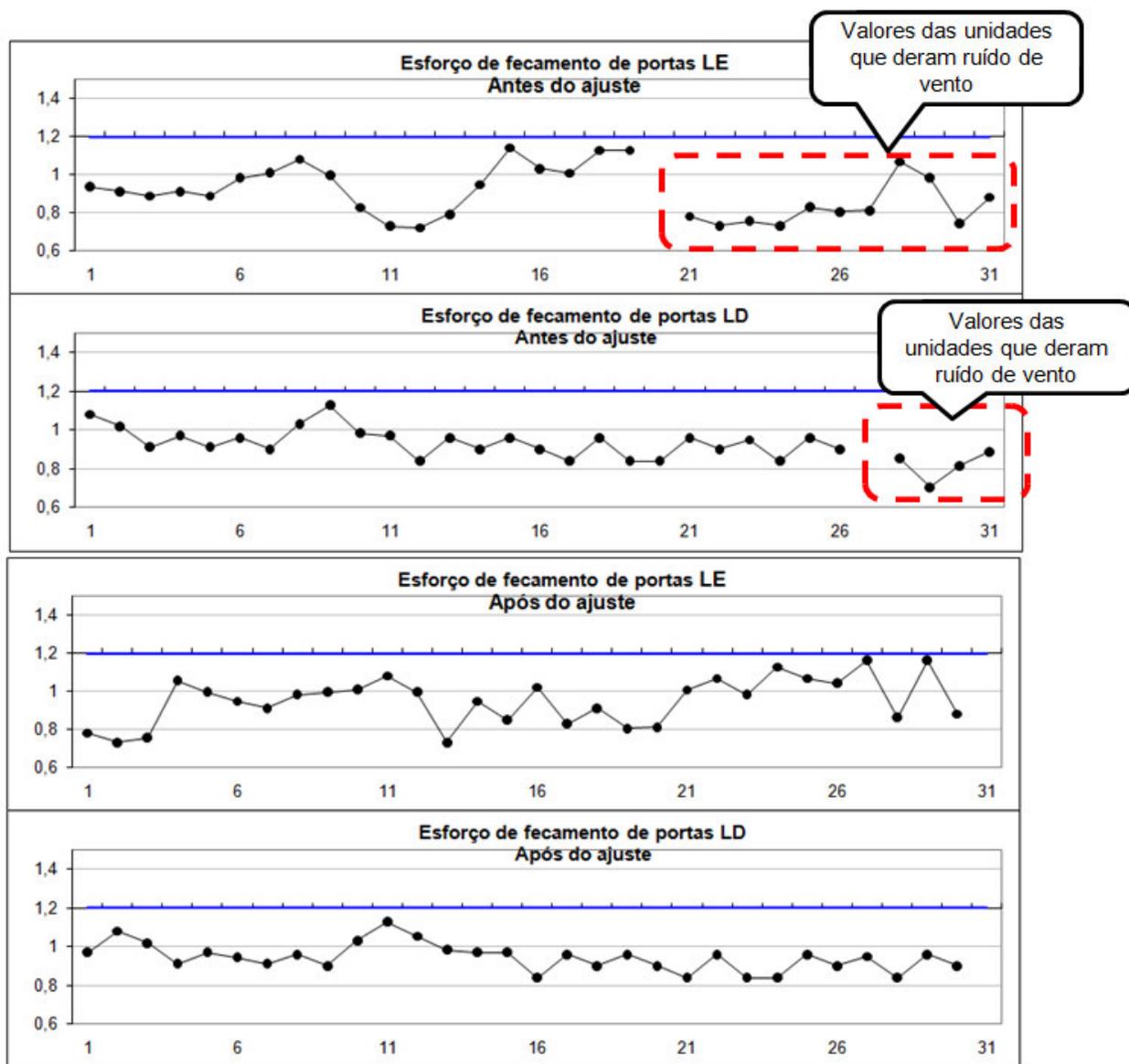


Figura 41. Carta de tendências do requisito do cliente para fechamento de portas antes e depois dos ajustes realizados.

Fonte: criação própria

Assim os esforços foram localizados no processo de ajustes das portas.

Mapeou-se o processo de instalação e ajuste das portas, para se verificar onde era possível fazer a contenção até a resolução final do problema, analisando-se passo a passo o mencionado processo da figura 42.

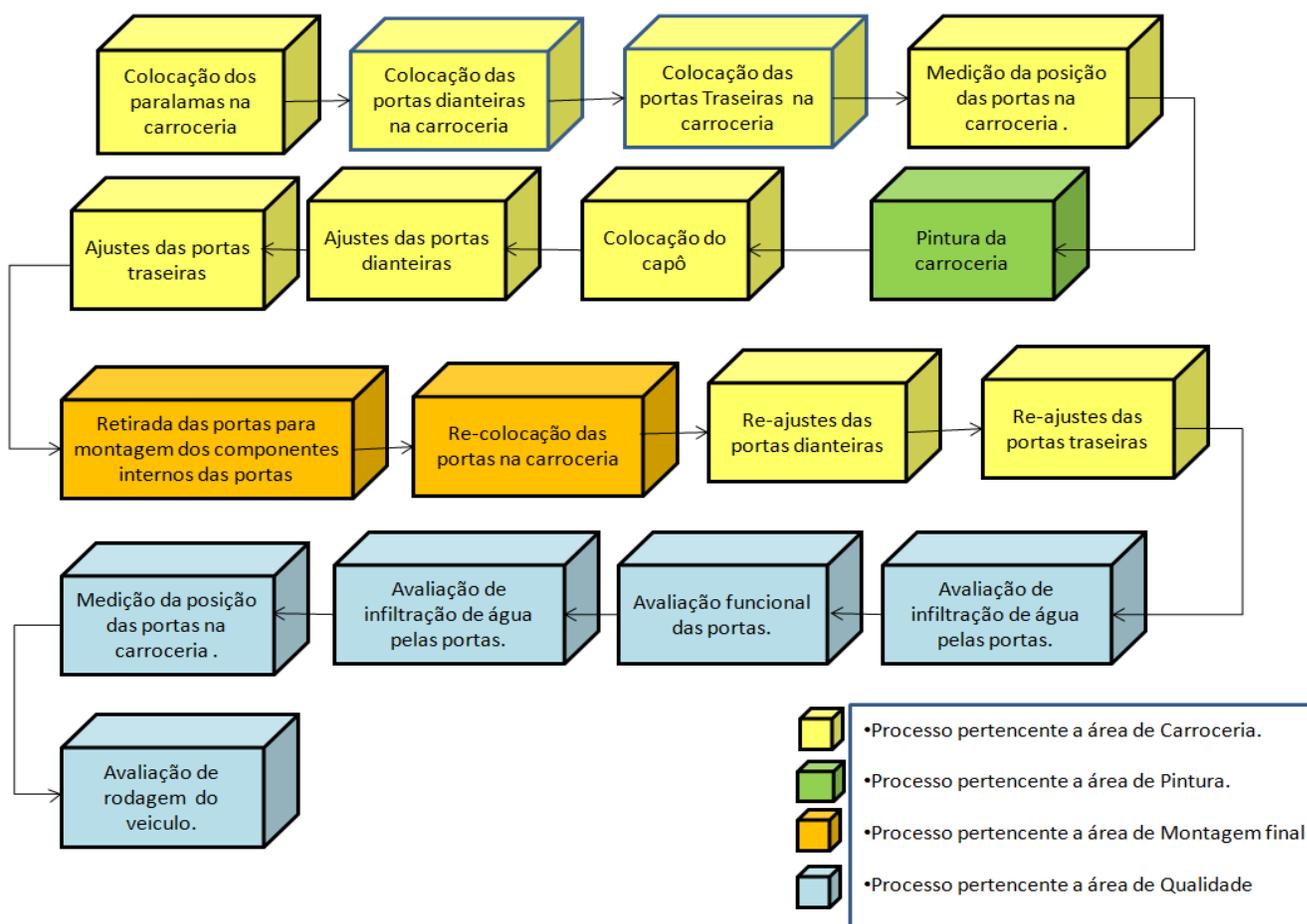


Figura 42. Mapeamento do processo

Fonte: criação própria

Com o resultado do mapeamento observa-se que:

- Os pára-lamas e as portas traseiras são instalados antes das portas dianteiras.
- As portas são ajustadas manualmente, ainda no processo de montagem, sem os componentes internos, como vidros e revestimentos;
- As portas são retiradas no processo de montagem, para a colocação dos componentes das portas, como vidros e revestimentos;
- As portas sofrem pequenas mudanças dimensionais no processo de pintura, devido à cura da massa estrutural aplicada no processo de montagem, ainda na área de carroceria;
- Após a montagem dos componentes as portas são re-instaladas, sendo assim necessário o re-ajuste manual, devido ao peso dos componentes; e
- As aberturas e faceamento das portas são medidos antes e depois do processo de montagem.

Com esse mapeamento, concluiu-se que era necessário o envio das portas da área de carroceria para área de montagem dos componentes já ajustadas. Assim as portas deveriam ser enviadas com o faceamento entre os pára-lamas e as portas dianteiras abaixo de 0,5mm. Para tanto seria necessário certificá-las após a re-colocação, na área de montagem final devido à influência do processo de cura da massa estrutural da porta e os pesos adicionados na montagem dos componentes como os vidros e revestimentos.

Como ação final para a solução do problema, o time verificou quais dos componentes eram passíveis de modificação sem atingir outras características do produto, e assim não atingindo a satisfação dos clientes. Para isto, o time elaborou uma nova espinha de peixe. (Ver figura 43).

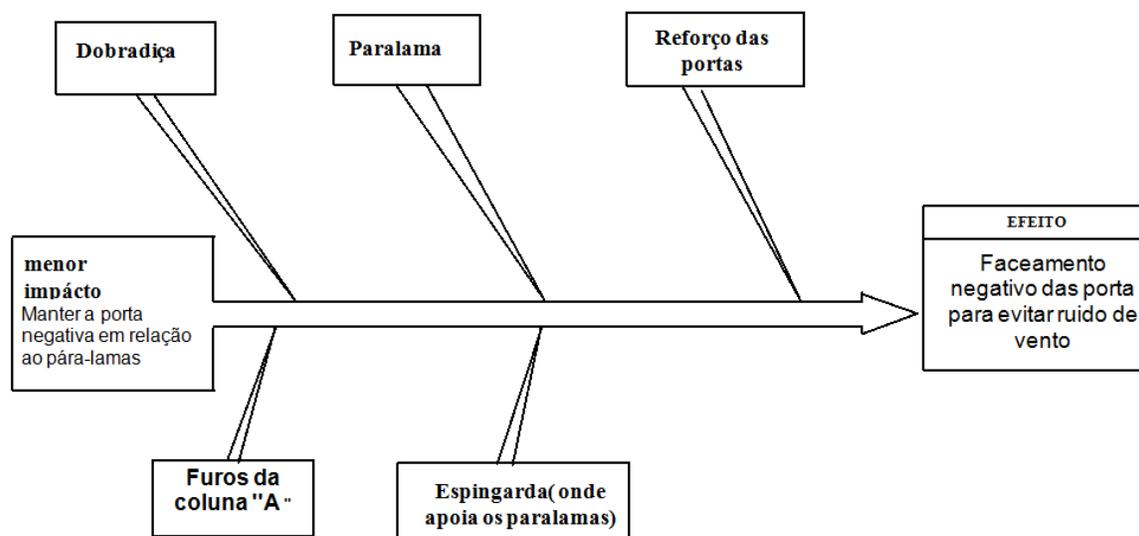


Figura 43. Espinha de Peixe.

Fonte: criação própria

Verificando a espinha de peixe, o time chegou à conclusão de que o menor impacto no projeto era a modificação nas dobradiças.

Para tanto foram feitas dobradiças com os furos deslocados em 1.0mm, visto que para o controle dimensional e os ajustes manuais, que fazem parte do processo, ficaria muito mais fácil de visualizar e medir.

Foram feitos 20 protótipos de dobradiça com os furos de fixação alterados em 1,0mm na direção $-Y$ (ver figura 44). Com as dobradiças protótipos foram construídas novas carrocerias, para validação da ação.

Medidas as carrocerias, constatou-se que os valores realmente refletiram no faceamento e então montaram-se 10 veículo novos para medição das características. As tabelas do Anexo V e Anexo VI mostram os valores obtidos nos 10 veículos montados com as dobradiças protótipos .

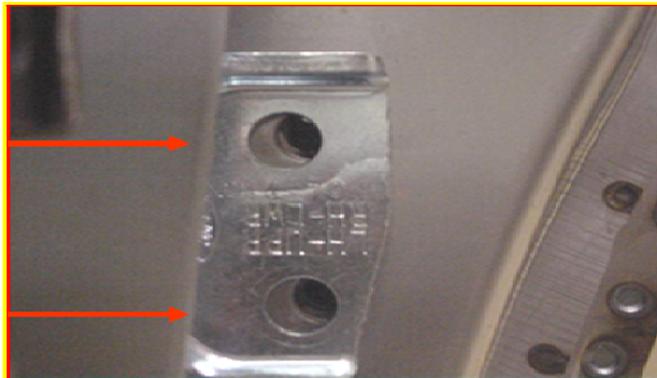


Figura 44. Figura demonstra a região que houve a modificação de 1,0mm na direção de $-Y$.

Fonte: criação própria

Os 10 veículos foram testados dinamicamente e não havendo a reincidência de ruídos de vento oriundos da região dianteira das portas.

Por fim time avaliou então a abertura entre as portas dianteiras e a carroceria e o esforço de fechamento das portas, verificando que os valores obtidos estavam dentro das tolerâncias especificadas para o produto. (Ver anexo VI), ou seja, não influenciou na abertura entre as portas dianteiras e carroceria e também no esforço de fechamento das portas.

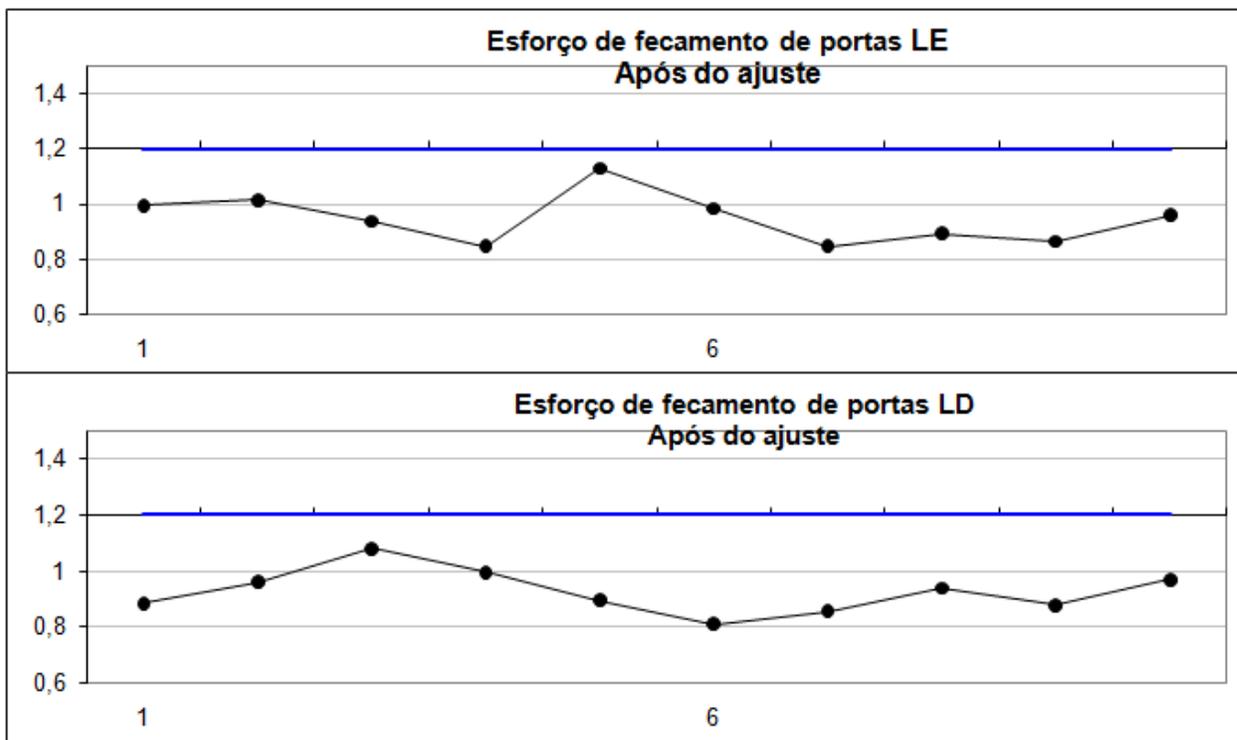


Figura 45. Carta de tendência da avaliação de esforço para abertura das portas dianteiras dos veiculos onde foram mantadas as dobradiças protótipos.

Fonte: criação própria

Após a validação dos protótipos (ver anexo V e anexo VI) foi enviado 1 par de dobradiças protótipos para o fornecedor de dobradiças para alteração e alterado o desenho das dobradiças em definitivo. Ainda como melhoria proposta foi determinada nova tolerância para o faceamento, entre as portas dianteiras e os paralamas passando de 0,0mm + /- 1,0mm, condição antes da melhoria sendo 0,0 a referencia de medição(pára-lamas) , onde permitia um faceamento de +1,0mm da porta dianteira acima dos pára-lamas para uma tolerância de -1,0mm para baixo dos para-lamas. Desta forma a porta dianteira poderia ficar entre 0,0mm a 2,0mm em relação aos pára-lamas.

Após a correção foram feitos novos testes e constatado a melhoria.

Como ação para garantir não reincidência do problema no campo, além da ação definitiva ilustrada na figura 44 , foram adicionados no FMEA e no plano de controle os

pontos definidos na figura 37, assim como o teste desta característica crítica (ruído de vento) para o cliente adicionado ao sistema de gerenciamento da qualidade.

Com tais ações foram percebidos nas pesquisas trimestrais de satisfação dos clientes uma melhoria significativa:

- Redução de 70% das reclamações do ruído de vento na região das portas não satisfatório;
- Redução de 40 % das reclamações de falta de uniformidades nas aberturas e faceamento das portas dianteiras não satisfatórias; e
- Redução de 80 % das reclamações de dificuldade de abrir e fechar as portas.

6.0- CONCLUSÕES.

Após o desenvolvimento do trabalho, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- 1) É possível identificar oportunidades de melhorias para novos produtos analisando o conceito de fabricação do produto e a metodologia do controle dimensional no processo produtivo.
- 2) Os dados gerados pelo controle dimensional fornecem informações ricas para a Engenharia de Produto. Tais informações servem como *feed back* para a melhoria contínua e eliminação de fatores que possam atingir a satisfação dos clientes.
- 3) As especificações de engenharia nem sempre atendem as expectativas dos clientes, ou seja, nem sempre a conformidade estrita com especificações de projeto assegura a satisfação plena do cliente.
- 4) A área de Manufatura pode contribuir com” *feed backs*”valiosos para a Engenharia do Produto os quais concorrem para a otimização do projeto de novos veículos e para a melhoria contínua do produto.

6.1- Contribuições

Sugere-se a criação de uma sistemática eficaz *de feed backs* da área de Manufatura para a área de Engenharia de Desenvolvimento de Produtos que utilize os resultados de trabalhos desta natureza, nas seguintes oportunidades:

- Ao longo da vida do produto para melhoria contínua do mesmo; e
- Durante o projeto de novos produtos.

• REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Dimensioning and Tolerancing, ASME Y 14.5 M, 1994, Revision of ANSI Y 14.5 M 1982 (R1988).

AUTO/STEEL PARTNERSHIP AND BODY SYSTEMS ANALYSIS PROJECT TEAM. Automotive Sheet Steel Stamping Process Variation, 1999, disponível pelo site www.a-sp.org, acesso em abril 2009.

BODY SYSTEMS ANALYSIS PROJECT TEAM. Body Systems Analysis: A Benchmark Study of Automotive Door Dimensional Quality – Executive - Summary, January 2002, disponível pelo site www.a-sp.org, acesso em dezembro de 2010.

CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA), segunda edição Americana em fevereiro de 1995.

CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. Fundamentos de Controle Estatístico do Processo (CEP), Primeira Edição Americana publicada em fevereiro de 1992, segunda impressão em março de 1995.

CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. Análise dos sistemas de Medição (MSA), Primeira Edição Americana publicada em outubro de 1990, segunda edição, fevereiro de 1995.

W. A. Taylor, Process Tolerancing: A solution to the dilemma of worst-case statistical tolerancing, 1997, <http://www.variation.com/techlib/ta-2full.html>

NBR 6409, Associação Brasileira de Normas Técnicas.1996

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. (2003) Planejamento de Experimentos Usando o Statistica. 1ª Edição, Rio de Janeiro,

Barkan, P., Hinckley, C.M., “The Benefits and Limitations of Structured Design Methodologies”, Manufacturing Review, 6(3):211-220, 1993.

Baron, J., “Dimensional Analysis and process Control of Body-In-White Processes”, Ph.D. Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, 1992.

Hu, S., Wu, S.M., "Identifying Root Causes of Variation in Automobile Body Assembly Using Principal Component Analysis", Trans. Ph. D. Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, 1990.

Ceglarek, D., Shi, J., "Fixture Failure Diagnosis for Autobody Assembly Using Pattern recognition", accepted for publication in the Trans. Of ASME, Journal of Engineering for Industry simultaneously in ASME Winter Annual Meeting, PED-68: 263-275, Chicago, Ill., November , 1994.

Datamyle HANDBOOK, "A Practical Guide to Computerized Data Collection for Statistical Process Control", Allen-Bradley Co. Inc, 1993.

FMEA- Failure Mode and Effect Analysis - Primeira Edição publicada em Fevereiro de 1993. Segunda Edição Americana, Fevereiro de 1995.

Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation.

TOLEDO, José Carlos de; AMARAL, Daniel Capaldo. FMEA: Análise do Tipo e Efeito de Falha. Disponível em:(<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>)

Lira, Francisco Adval de " Metrologia na Indústria" São Paulo Èrica, 2001 2ª Edição.

Corrêa, Henrique Luiz " Teoria geral da administração :Abordagem histórica da gestão de produção e operações" São Paulo :atlas 2003

Um século de Ford" – Edição comemorativa de um centenário -1ª Edição 2006

The Theory of Buyer Behavior (1969)- Jagdish Sheth

Guide to Quality Control (Kraus, 1976);

BAKERJIAN, R, Tool and Manufacturing engineering handbook Vol. VI, Michigan, 1992.

McCARTHY, B. M.; STAUFFER, R. Enhancing six sigma through simulation with igrafx process for six sigma. In: Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference, Phoenix, Arizona, 2001.

Ohno, Tahiiichi , Sistema Toyota de Produção, 1a Edição 1996.

CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C. A. Administração de Produção e Operações:

Manufatura e Serviços: Uma Abordagem Estratégica. 2 ed. São Paulo: Atlas. 2006

SLATER, Robert -Guia prático do estilo Jack Welch – seu plano de batalha para a

revolução corporativa São Paulo: Negócio Editora, 2000.

SINGLETON, JOHN - Learning in Likely Places: Varieties of Apprenticeship in Japan – Cambridge University Press, 1998

KANO, N.; N. Seraku; F. Takahashi; S. Tsuji: Attractive Quality and Must-be Quality, Hinshitsu. The Journal of the Japanese Society for Quality Control, Abril 1984,

SLACK, N. Vantagem competitiva em Manufatura. São Paulo: Atlas, 1993.

FERREIRA NETO, Edgard Pereira de. Gestão da Qualidade: princípios e métodos. 3 ed., São Paulo: Pioneira, 1993.

Deming, W. Edwards - Out of the Crisis. MIT Press, 1986

BYRNE, Diane M.; TAGUCHI, Shin. The Taguchi Approach to Parameter Design. Quality Progress, 1987.

Taguchi, G, Elsayed, E.A., Hsiang, T. Taguchi - Engenharia da Qualidade em Sistemas de Produção. São Paulo: Mc Graw Hill, 1990

JURAN J. M, A Qualidade desde o projeto, os novos passos para o planejamento da qualidade. Ed. 3ª. Ed. Pioneira, São Paulo, 1991

CROSBY, P. B. Qualidade, falando sério. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

FEIGENBAUM, Armand V. Controle da qualidade total: gestão de sistemas. São Paulo: Makron Books, V1, 1994

HAYS, D.W.: "Quality Improvement and its Origin in Scientific Management". Quality Progress, 1994

PALADINI, Edson Pacheco: Gestão da Qualidade no Processo. São Paulo, Atlas, 1995

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

AGASHE, S.; Zhang, H. Selection of Schedules Based on Heat Balance in Resistance Spot Welding. Welding Journal, 2003.

AWS – American Welding Society, Jefferson's Welding Encyclopedia. 18th Edition. Miami, 1997.

FORD MOTOR COMPANY. Team-Oriented Problem-Solving Process, 1989

ANEXO I

unidade No	Nominal da Abertura entre porta e carroç.	Tolerancia da abert entre porta e carroç inferior	Tolerancia da abert entre porta e carroç inferior	01 Abert entre porta e carroç LE	02 Abert entre porta e carroç LE	3 Abert entre porta e carroç LE	01 Abert entre porta e carroç LD	02 Abert entre porta e carroç LD	03 Abert entre porta e carroç LD
1	15,00	13,00	17,00	15,11	15,91	15,70	14,86	15,53	15,23
2	15,00	13,00	17,00	15,12	16,02	15,87	14,17	14,90	14,74
3	15,00	13,00	17,00	14,86	15,82	15,61	14,34	15,00	14,89
4	15,00	13,00	17,00	14,97	15,10	14,90	14,12	14,95	14,75
5	15,00	13,00	17,00	14,95	15,08	14,96	14,11	14,78	14,69
6	15,00	13,00	17,00	14,95	15,11	14,96	14,88	15,61	15,31
7	15,00	13,00	17,00	15,11	15,34	15,14	14,73	15,39	15,23
8	15,00	13,00	17,00	15,39	14,49	14,37	14,34	15,17	15,06
9	15,00	13,00	17,00	14,84	14,90	14,69	14,22	14,89	14,69
10	15,00	13,00	17,00	14,84	15,05	14,85	14,65	15,38	15,29
11	15,00	13,00	17,00	14,96	15,19	15,07	14,10	14,76	14,46
12	15,00	13,00	17,00	14,82	15,18	14,97	14,91	15,74	15,58
13	15,00	13,00	17,00	15,07	15,90	15,70	14,26	14,93	14,82
14	15,00	13,00	17,00	14,70	15,11	14,99	14,87	15,60	15,40
15	15,00	13,00	17,00	14,99	15,15	14,94	13,93	14,59	14,50
16	15,00	13,00	17,00	14,94	15,17	14,97	14,10	14,93	14,63
17	15,00	13,00	17,00	15,09	15,92	15,80	14,25	14,92	14,76
18	15,00	13,00	17,00	14,69	15,20	14,99	14,30	15,03	14,92
19	15,00	13,00	17,00	15,15	15,98	15,78	14,17	14,83	14,63
20	15,00	13,00	17,00	14,67	15,50	15,38	14,07	14,90	14,81
21	15,00	13,00	17,00	14,62	14,75	14,54	14,61	15,28	14,98
22	15,00	13,00	17,00	14,75	15,58	15,38	14,11	14,84	14,64
23	15,00	13,00	17,00	14,86	15,69	15,57	14,82	15,48	15,39
24	15,00	13,00	17,00	14,91	15,03	14,82	13,53	14,36	14,68
25	15,00	13,00	17,00	14,67	14,77	14,57	13,89	14,56	15,37
26	15,00	13,00	17,00	14,64	14,76	14,64	14,32	15,05	14,75
27	15,00	13,00	17,00	15,04	15,20	14,99	14,24	14,90	14,74
28	15,00	13,00	17,00	14,79	15,62	15,42	13,92	14,75	14,64
29	15,00	13,00	17,00	15,05	15,16	15,04	14,10	14,77	14,57
30	15,00	13,00	17,00	15,16	15,72	15,51	13,79	14,52	14,43

ANEXO II

unidade de No	Nominal de Faceamento	Tolerância Faceamento to Inferior	Tolerância Faceamento to Superior	01 Faceamento encontrado no LE	02 Faceamento encontrado do LE	03 Faceamento encontrado do LE	01 Faceamento encontrado do LD	02 Faceamento encontrado do LD	03 Faceamento encontrado do LD	Ruído de vento LE	Ruído de vento LD	(*)Maxim o Valor permitido de Esforço	Maximo Valor permitido de Esforço LE	Maximo Valor permitido de Esforço LD
1	0,00	-1,00	1,00	-0,11	0,91	0,37	-1,13	0,53	-0,33	sim	sim	1,2 Nm	0,78 Nm	0,85 Nm
2	0,00	-1,00	1,00	0,18	0,72	0,12	-0,36	-0,10	-0,20	sim	não	1,2 Nm	0,73 Nm	1,08 Nm
3	0,00	-1,00	1,00	0,14	0,82	0,28	-0,41	0,00	-0,30	sim	não	1,2 Nm	0,76 Nm	1,02 Nm
4	0,00	-1,00	1,00	0,03	0,10	0,30	-0,45	-0,05	-0,25	não	não	1,2 Nm	0,94 Nm	0,91 Nm
5	0,00	-1,00	1,00	0,05	0,08	0,20	-0,47	-0,22	-0,38	não	não	1,2 Nm	0,91 Nm	0,97 Nm
6	0,00	-1,00	1,00	0,05	0,11	0,26	-0,91	0,61	-0,41	não	sim	Nível 3	0,89 Nm	0,70 Nm
7	0,00	-1,00	1,00	-0,11	0,34	0,26	-0,55	0,39	-0,19	não	não	1,2 Nm	0,91 Nm	0,91 Nm
8	0,00	-1,00	1,00	-0,39	-0,51	-0,39	-0,28	0,17	0,03	não	não	1,2 Nm	0,89 Nm	0,96 Nm
9	0,00	-1,00	1,00	0,16	-0,10	0,11	-0,41	-0,11	-0,01	não	não	1,2 Nm	0,98 Nm	0,90 Nm
10	0,00	-1,00	1,00	0,16	0,05	0,25	-0,37	0,38	-0,08	não	não	1,2 Nm	1,01 Nm	1,03 Nm
11	0,00	-1,00	1,00	0,04	0,19	0,11	-0,28	-0,24	0,22	não	não	1,2 Nm	1,08 Nm	1,13 Nm
12	0,00	-1,00	1,00	0,18	0,18	0,29	-1,12	0,74	-0,26	não	sim	Nível 3	1,00 Nm	0,81 Nm
13	0,00	-1,00	1,00	-0,07	0,90	0,60	-0,26	-0,07	-0,02	sim	não	Nível 3	0,73 Nm	0,98 Nm
14	0,00	-1,00	1,00	0,30	0,11	0,23	-0,37	0,60	-0,04	não	sim	Nível 3	0,83 Nm	0,89 Nm
15	0,00	-1,00	1,00	0,01	0,15	0,16	-0,11	-0,41	-0,02	não	não	1,2 Nm	0,73 Nm	0,97 Nm
16	0,00	-1,00	1,00	0,06	0,17	0,17	-0,45	-0,07	-0,02	não	não	1,2 Nm	0,72 Nm	0,84 Nm
17	0,00	-1,00	1,00	-0,09	0,92	0,44	-0,30	-0,08	-0,01	sim	não	Nível 2	0,83 Nm	0,96 Nm
18	0,00	-1,00	1,00	0,31	0,20	0,11	-0,36	0,03	-0,12	não	não	1,2 Nm	0,79 Nm	0,90 Nm
19	0,00	-1,00	1,00	-0,15	0,98	0,31	-0,25	-0,17	-0,05	sim	não	Nível 2	0,81 Nm	0,96 Nm
20	0,00	-1,00	1,00	0,33	0,50	0,22	-0,21	-0,10	-0,12	sim	não	Nível 3	0,81 Nm	0,90 Nm
21	0,00	-1,00	1,00	0,38	-0,25	-0,44	-0,80	0,28	-0,50	não	não	1,2 Nm	0,95 Nm	0,84 Nm
22	0,00	-1,00	1,00	0,25	0,58	0,38	-0,26	-0,16	-0,06	sim	não	Nível 3	1,07 Nm	0,96 Nm
23	0,00	-1,00	1,00	0,14	0,89	0,41	-0,79	0,48	-0,05	sim	não	Nível 3	0,98 Nm	0,84 Nm
24	0,00	-1,00	1,00	0,09	0,03	-0,16	-0,47	-0,64	-0,79	não	não	1,2 Nm	1,14 Nm	0,84 Nm
25	0,00	-1,00	1,00	0,33	-0,23	-0,43	-0,18	-0,44	-0,99	não	não	1,2 Nm	1,03 Nm	0,96 Nm
26	0,00	-1,00	1,00	0,36	-0,24	-0,52	-0,78	0,05	-0,23	não	não	1,2 Nm	1,01 Nm	0,90 Nm
27	0,00	-1,00	1,00	-0,04	0,20	0,01	-0,49	-0,10	-0,33	não	não	1,2 Nm	1,13 Nm	0,95 Nm
28	0,00	-1,00	1,00	0,21	0,82	0,36	-0,29	-0,25	-0,58	sim	não	Nível 3	0,74 Nm	0,84 Nm
29	0,00	-1,00	1,00	-0,05	0,16	-0,12	-1,00	-0,23	-0,80	não	não	1,2 Nm	1,13 Nm	0,96 Nm
30	0,00	-1,00	1,00	-0,16	0,72	0,23	-1,04	-0,48	-0,95	sim	não	Nível 2	0,88 Nm	0,90 Nm

(*) Valores expressivos apenas para demonstração não correspondem ao valor normalmente usado (dados sigilosos da montadora em questão)

ANEXO III

unidade No	Nominal da Abertura entre porta e carroc.	Tolerancia da abert entre porta e carroc inferior	Tolerancia da abert entre porta e carroc inferior	01 Abert entre porta e carroc LE	02 Abert entre porta e carroc LE	3 Abert entre porta e carroc LE	01 Abert entre porta e carroc LD	02 Abert entre porta e carroc LD	03 Abert entre porta e carroc LD
1	15,00	13,00	17,00	14,81	15,11	15,32	14,23	14,90	14,60
2	15,00	13,00	17,00	15,13	15,13	14,98	14,17	14,90	14,74
3	15,00	13,00	17,00	14,80	15,06	14,85	14,34	15,00	14,89
4	15,00	13,00	17,00	14,97	15,10	14,90	14,12	14,95	14,75
5	15,00	13,00	17,00	14,95	15,08	14,96	14,11	14,78	14,69
6	15,00	13,00	17,00	14,95	15,11	14,96	14,35	15,08	14,78
7	15,00	13,00	17,00	15,11	15,34	15,14	14,73	15,39	15,23
8	15,00	13,00	17,00	15,39	14,49	14,37	14,34	15,17	15,06
9	15,00	13,00	17,00	14,84	14,90	14,69	14,22	14,89	14,69
10	15,00	13,00	17,00	14,84	15,05	14,85	14,65	15,38	15,29
11	15,00	13,00	17,00	14,96	15,19	15,07	13,25	13,91	13,61
12	15,00	13,00	17,00	14,82	15,18	14,97	14,19	15,02	14,86
13	15,00	13,00	17,00	14,05	14,88	14,68	14,26	14,93	14,82
14	15,00	13,00	17,00	14,70	15,11	14,99	14,13	14,86	14,66
15	15,00	13,00	17,00	14,99	15,15	14,94	13,93	14,59	14,50
16	15,00	13,00	17,00	14,94	15,17	14,97	14,10	14,93	14,63
17	15,00	13,00	17,00	15,09	15,92	15,80	14,25	14,92	14,76
18	15,00	13,00	17,00	14,69	15,20	14,99	14,30	15,03	14,92
19	15,00	13,00	17,00	14,70	15,53	15,33	14,17	14,83	14,63
20	15,00	13,00	17,00	14,28	15,11	14,99	14,07	14,90	14,81
21	15,00	13,00	17,00	14,62	14,75	14,54	14,61	15,28	14,98
22	15,00	13,00	17,00	14,78	15,01	14,81	14,11	14,84	14,64
23	15,00	13,00	17,00	14,77	15,07	14,95	14,82	15,48	15,39
24	15,00	13,00	17,00	14,91	15,03	14,82	13,53	14,36	14,68
25	15,00	13,00	17,00	14,67	14,77	14,57	13,89	14,56	15,37
26	15,00	13,00	17,00	14,64	14,76	14,64	14,32	15,05	14,75
27	15,00	13,00	17,00	15,04	15,20	14,99	14,24	14,90	14,74
28	15,00	13,00	17,00	14,97	15,10	14,90	13,92	14,75	14,64
29	15,00	13,00	17,00	15,05	15,16	15,04	14,10	14,77	14,57
30	15,00	13,00	17,00	14,84	14,44	14,23	13,79	14,52	14,43

ANEXO IV

unidade No	Nominal de Faceamento	Tolerância Faceamento Inferior	Tolerância Faceamento Superior	01 Faceamento encontrado no LE	02 Faceamento encontrado do LE	03 Faceamento encontrado do LE	01 Faceamento encontrado do LD	02 Faceamento encontrado do LD	03 Faceamento encontrado do LD	Ruído de vento LE	Ruído de vento LD	(*)Máximo Valor permitido do Esforço	Máximo Valor permitido do Esforço LE	Máximo Valor permitido do Esforço LD
1	0,00	-1,00	1,00	0,19	0,11	-0,85	-0,50	-0,10	0,30	não	não	1,2 Nm	0,78 Nm	0,97 Nm
2	0,00	-1,00	1,00	0,17	-0,17	-0,77	-0,36	-0,10	-0,20	não	não	1,2 Nm	0,73 Nm	1,08 Nm
3	0,00	-1,00	1,00	0,20	0,06	-0,48	-0,41	0,00	-0,30	não	não	1,2 Nm	0,76 Nm	1,02 Nm
4	0,00	-1,00	1,00	0,03	0,10	0,30	-0,45	-0,05	-0,25	não	não	1,2 Nm	1,06 Nm	0,91 Nm
5	0,00	-1,00	1,00	0,05	0,08	0,20	-0,47	-0,22	-0,38	não	não	1,2 Nm	1,00 Nm	0,97 Nm
6	0,00	-1,00	1,00	0,05	0,11	0,26	-0,38	0,08	0,12	não	não	1,2 Nm	0,95 Nm	0,94 Nm
7	0,00	-1,00	1,00	-0,11	0,34	0,26	-0,55	0,39	-0,19	não	não	1,2 Nm	0,91 Nm	0,91 Nm
8	0,00	-1,00	1,00	-0,39	-0,51	-0,39	-0,28	0,17	0,03	não	não	1,2 Nm	0,98 Nm	0,96 Nm
9	0,00	-1,00	1,00	0,16	-0,10	0,11	-0,41	-0,11	-0,01	não	não	1,2 Nm	1,00 Nm	0,90 Nm
10	0,00	-1,00	1,00	0,16	0,05	0,25	0,07	-0,06	0,36	não	não	1,2 Nm	1,01 Nm	1,03 Nm
11	0,00	-1,00	1,00	0,04	0,19	0,11	-0,11	-1,09	0,31	não	não	1,2 Nm	1,08 Nm	1,13 Nm
12	0,00	-1,00	1,00	0,18	0,18	0,29	-0,40	0,02	0,06	não	não	1,2 Nm	1,00 Nm	1,05 Nm
13	0,00	-1,00	1,00	0,15	-0,12	-0,42	-0,26	-0,07	-0,02	não	não	1,2 Nm	0,73 Nm	0,98 Nm
14	0,00	-1,00	1,00	0,30	0,11	0,23	0,37	-0,14	0,57	não	não	1,2 Nm	0,95 Nm	0,97 Nm
15	0,00	-1,00	1,00	0,01	0,15	0,16	-0,11	-0,41	-0,82	não	não	1,2 Nm	0,85 Nm	0,97 Nm
16	0,00	-1,00	1,00	0,06	0,17	0,17	-0,45	-0,07	-0,02	não	não	1,2 Nm	1,02 Nm	0,84 Nm
17	0,00	-1,00	1,00	0,15	0,08	-0,40	-0,30	-0,08	-0,01	não	não	1,2 Nm	0,83 Nm	0,96 Nm
18	0,00	-1,00	1,00	0,31	0,20	0,11	-0,36	0,03	-0,12	não	não	1,2 Nm	0,91 Nm	0,90 Nm
19	0,00	-1,00	1,00	0,21	0,22	-0,45	-0,25	-0,17	-0,05	não	não	1,2 Nm	0,81 Nm	0,96 Nm
20	0,00	-1,00	1,00	0,29	0,11	-0,17	-0,21	-0,10	-0,12	não	não	1,2 Nm	0,81 Nm	0,90 Nm
21	0,00	-1,00	1,00	0,38	-0,25	-0,44	-0,80	0,28	-0,50	não	não	1,2 Nm	1,01 Nm	0,84 Nm
22	0,00	-1,00	1,00	0,22	0,01	-0,19	-0,26	-0,16	-0,06	não	não	1,2 Nm	1,07 Nm	0,96 Nm
23	0,00	-1,00	1,00	0,23	0,07	-0,21	-0,09	-0,22	0,00	não	não	1,2 Nm	0,98 Nm	0,84 Nm
24	0,00	-1,00	1,00	0,09	0,03	-0,16	-0,47	-0,64	-0,79	não	não	1,2 Nm	1,13 Nm	0,84 Nm
25	0,00	-1,00	1,00	0,33	-0,23	-0,43	-0,18	-0,44	-0,99	não	não	1,2 Nm	1,07 Nm	0,96 Nm
26	0,00	-1,00	1,00	0,36	-0,24	-0,52	-0,78	0,05	-0,23	não	não	1,2 Nm	1,04 Nm	0,90 Nm
27	0,00	-1,00	1,00	-0,04	0,20	0,01	-0,49	-0,10	-0,33	não	não	1,2 Nm	1,16 Nm	0,95 Nm
28	0,00	-1,00	1,00	0,03	0,10	-0,16	-0,29	-0,25	-0,58	não	não	1,2 Nm	0,86 Nm	0,84 Nm
29	0,00	-1,00	1,00	-0,05	0,16	-0,12	-1,00	-0,23	-0,80	não	não	1,2 Nm	1,16 Nm	0,96 Nm
30	0,00	-1,00	1,00	0,16	-0,56	-1,05	-1,04	-0,48	-0,95	não	não	1,2 Nm	0,88 Nm	0,90 Nm

ANEXO V

unidade No	Nominal da Abertura entre porta e carroç.	Tolerancia da abert entre porta e carroç inferior	Tolerancia da abert entre porta e carroç inferior	01 Abert entre porta e carroç LE	02 Abert entre porta e carroç LE	3 Abert entre porta e carroç LE	01 Abert entre porta e carroç LD	02 Abert entre porta e carroç LD	03 Abert entre porta e carroç LD
1	15,00	13,00	17,00	13,96	14,09	13,97	13,51	14,18	14,09
2	15,00	13,00	17,00	13,85	14,01	13,86	13,39	14,12	13,82
3	15,00	13,00	17,00	14,21	14,44	14,24	13,53	14,19	14,03
4	15,00	13,00	17,00	15,19	14,29	14,17	13,64	14,47	14,36
5	15,00	13,00	17,00	13,94	14,00	13,79	13,32	13,99	13,79
6	15,00	13,00	17,00	14,14	14,35	14,15	13,85	14,58	14,49
7	15,00	13,00	17,00	13,88	14,11	13,99	13,32	13,98	13,68
8	15,00	13,00	17,00	13,76	14,12	13,91	13,07	13,90	13,74
9	15,00	13,00	17,00	13,28	14,11	13,91	13,26	13,93	13,82
10	15,00	13,00	17,00	13,55	13,96	13,84	13,43	14,16	13,96

ANEXO VI

unidade No	Nominal de Faceamento	Tolerância Faceamento		Tolerância Faceamento Superior	Faceamento do LE			Faceamento do LD			Ruído de vento LE	Ruído de vento LD	(*)Máximo Valor permitido de Esforço	Máximo Valor permitido de Esforço LE	Máximo Valor permitido de Esforço LD
		Inferior	Superior		01	02	03	01	02	03					
1	0,00	-1,00	1,00	1,00	-0,78	-0,91	-0,79	-0,91	-0,82	-0,82	não	não	1,2 Nm	0,99 Nm	0,89 Nm
2	0,00	-1,00	1,00	1,00	-0,83	-0,99	-0,84	-1,18	-0,88	-0,68	não	não	1,2 Nm	1,02 Nm	0,96 Nm
3	0,00	-1,00	1,00	1,00	-0,33	-0,56	-0,64	-0,97	-0,81	-0,61	não	não	1,2 Nm	0,94 Nm	1,08 Nm
4	0,00	-1,00	1,00	1,00	-1,61	-0,71	-0,59	-0,64	-0,53	-0,33	não	não	1,2 Nm	0,85 Nm	1,00 Nm
5	0,00	-1,00	1,00	1,00	-0,94	-1,00	-0,79	-1,21	-1,01	-0,81	não	não	1,2 Nm	1,13 Nm	0,90 Nm
6	0,00	-1,00	1,00	1,00	-0,44	-0,65	-0,45	-0,95	-0,86	-0,66	não	não	1,2 Nm	0,98 Nm	0,81 Nm
7	0,00	-1,00	1,00	1,00	-0,66	-0,89	-0,97	-1,32	-1,02	-0,90	não	não	1,2 Nm	0,85 Nm	0,86 Nm
8	0,00	-1,00	1,00	1,00	-0,52	-0,88	-0,77	-1,26	-1,10	-0,80	não	não	1,2 Nm	0,89 Nm	0,94 Nm
9	0,00	-1,00	1,00	1,00	-0,06	-0,89	-1,19	-1,18	-1,07	-0,94	não	não	1,2 Nm	0,86 Nm	0,88 Nm
10	0,00	-1,00	1,00	1,00	-0,63	-1,04	-0,92	-1,04	-0,84	-0,84	não	não	1,2 Nm	0,96 Nm	0,97 Nm