



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

**RICARDO COUTINHO CERQUEIRA**

**GESTÃO DIMENSIONAL NO DESENVOLVIMENTO DE**  
**PRODUTOS: UMA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Salvador

2011

**RICARDO COUTINHO CERQUEIRA**

**GESTÃO DIMENSIONAL NO DESENVOLVIMENTO DE  
PRODUTOS: UMA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

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 Uchôa Passos

Salvador  
2011

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

C411g

Cerqueira, Ricardo Coutinho

Gestão dimensional no desenvolvimento de produtos: uma aplicação na indústria automotiva. /Ricardo Coutinho Cerqueira. 2012.

167f.; il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Uchôa Passos

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) - Faculdade de Tecnologia Senai-CIMATEC, Salvador, 2012.

1. Produtos novos. 2. Gestão dimensional. 3. Desenvolvimento de produtos - Processo. 4. Engenharia simultânea. 5. Indústria automotiva. I. Faculdade de Tecnologia Senai-CIMATEC. II. Passos, Francisco Uchôa. III. Título.

CDD: 658.575

RICARDO COUTINHO CERQUEIRA

GESTÃO DIMENSIONAL NO DESENVOLVIMENTO DE  
PRODUTOS: UMA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

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

Aprovada em xx de xxxx de 2012.

**Banca Examinadora**

Nome completo – Orientador \_\_\_\_\_

Doutor em xxxxxx pela Universidade de xxxxxx, cidade, País

Faculdade tecnologia SENAI CIMATEC

Membro interno da Banca \_\_\_\_\_

Doutor em xxxxxx pela Universidade de xxxxxx, cidade, País

Instituição do membro da banca

Membro interno da Banca \_\_\_\_\_

Doutor em xxxxxx pela Universidade de xxxxxx, cidade, País

Instituição do membro da banca

Dedico este trabalho a minha esposa, Déborah, e aos meus pais, Henrique e Cida.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço à Deus, que me deu forças para concluir com êxito este grande projeto.

Agradeço também à minha esposa, Déborah, que foi a maior incentivadora a persistir e concluir este Mestrado. Sem ela, com certeza teria desistido no meio do caminho. Seu carinho, compreensão e companheirismo foram a força motriz para buscar este sonho. Obrigado por sempre acreditar em mim, pelos muitos finais de semana que ficou ao meu lado, revisando o trabalho, preparando um lanche ou apenas me fazendo companhia. Foram essenciais para o meu sucesso e isso só demonstra ainda mais a grande mulher que tenho ao meu lado. Te amo!

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Uchôa, o qual, com sua linha de raciocínio, consistência e detalhamento, me possibilitou desenvolver este trabalho com uma boa estruturação e qualidade. Também meus agradecimentos aos meus co-orientadores, Prof. Dr. Renelson Sampaio e Prof. Dr. Cristiano Vasconcelos, pelas suas críticas construtivas que só vieram a enriquecer ainda mais este trabalho.

Agradeço à companhia na qual trabalho, pelo incentivo e cooperação financeira, visando o crescimento e desenvolvimento do time local da engenharia.

Agradeço também aos meus familiares e amigos mais próximos, pelos conselhos, incentivos e brincadeiras que me ajudaram a concluir o trabalho. Em especial aos meus pais (Henrique e Cida), aos meus irmãos (Marcelo e Leonardo), e aos meus amigos (Marcelo Dornelles, Hugo Martins, Marcos Rosaneli e João Quaglia).

Por fim, agradeço aos meus colegas de trabalho, com os quais venho aprendendo e crescendo profissionalmente a cada dia.

Salvador, 01 de Agosto de 2012

---

Ricardo Cerqueira

## RESUMO

Durante décadas a questão de variação dimensional de fabricação e montagem de produtos multi-componentes, como carros e aviões, foi tratada como um "problema" em que a produção tinha que conviver e controlar de maneira a assegurar a qualidade do produto. Nesse período, pouca ou nenhuma preocupação com os efeitos que essas variações podiam trazer na funcionalidade e aparência dos produtos eram observadas durante o desenvolvimento dos mesmos. Por isso projetos não-robustos à variação dimensional eram desenvolvidos, os quais deixavam para o "chão-de-fábrica" o legado de executar operações de refinamento e ajustes para entregar os produtos em conformidade com as especificações. Percebeu-se, então, que esses projetos não-robustos ocasionavam impactos diretos na perda de qualidade do produto, aumento de custos – tanto de desenvolvimento quanto de produção – atrasos no lançamento de novos produtos e aumento no tempo de ciclo de produção. Sendo assim, constatou-se a necessidade de inserir a questão de variação dimensional dentro do desenvolvimento de produtos, num ambiente de engenharia simultânea, com o intuito de conceber projetos robustos a essas variações inerentes aos processos manufatureiros. Daí surge o *Design for Dimensional Control*, que é um conjunto de métodos, procedimentos e ferramentas dedicados a gerenciar a variação dimensional durante o projeto, fabricação e montagem, com o intuito de atingir as expectativas de qualidade dos consumidores para os atributos estéticos e funcionais dos produtos. Este trabalho tem o objetivo de demonstrar como essa metodologia pode ser aplicada dentro do ambiente de desenvolvimento de produtos em uma indústria automotiva, a partir da observação de oportunidades de melhoria no processo atual de gestão dimensional desta companhia. Propõe-se obter um conjunto de práticas de gestão dimensional específico para esta empresa, aplicado ao caso particular do seu Centro de Desenvolvimento de Produtos localizado no Brasil, com potencial poder de adoção em outras empresas automotivas ou desenvolvedoras de produtos multi-componentes em geral.

Palavras-chave: Gestão Dimensional; Processo de Desenvolvimento de Produtos; Engenharia Simultânea.

## **ABSTRACT**

For decades, the dimensional variation matter of manufacturing and assembly process of multi-components products, like vehicles and airplanes, was treated as an "issue" which production has to live together and control in order to deliver quality products. By this time, none or almost none preoccupation with the effects that these variations could bring to product's appearance and function were observed during product development, so non-robust projects to dimensional variation were developed, which left to shop-floor, the legacy of executing refinement and adjustment operations to deliver acceptable products. Then was observed that these projects brought direct impact to product's bad quality, increases of costs both on product development and production, delays of new products launching and also increases of production cycle time. So, it was observed the necessity of including dimensional variation matters into product development process, as another concern to concurrent engineering, in order to create robust projects to these variations inherent of manufacturing processes. Hence Design for Dimensional Control, which is an Engineering process, methods and tools dedicated to manage dimensional variation during design, manufacturing and assembly, in order to meet customer quality expectations for appearance and functional attributes. This thesis, indeed, has the objective of demonstrating how this methodology can be applied inside of product development environment in an automotive industry, starting with the observation of improvements opportunities in its actual dimensional management process. It is expected to obtain a set of dimensional management practices for this company, however with potential to be adopted by other automotive industries or other companies which develop multi-components products.

Keywords: Design for Dimensional Control; Dimensional Management, Product Development Process; Concurrent Engineering

## LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 01 – Método <i>worst case</i> de cálculo de acúmulo de tolerâncias .....	47
Fórmula 02 – Método <i>root sum-square</i> de tolerâncias estatísticas .....	48

## LISTA DE SÍMBOLOS

$WC_{\text{tolerance}}$  – somatório de tolerâncias pelo método *worst-case*

$T_n$  – tolerâncias que contribuem para o acúmulo da tolerância total

$RSS_{\text{tolerance}}$  – somatório de tolerâncias pelo método *root sum-square*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Modelo genérico do PDP de Rozenfeld et al (2006) .....	30
Figura 02 – Exemplo de requisito dimensional estético – <i>margin &amp; flushness</i> .....	33
Figura 03 – Exemplo de requisito dimensional funcional – <i>seal gap</i> .....	34
Figura 04 – Diagrama de Kano de satisfação do cliente .....	36
Figura 05 – Matriz da Casa da Qualidade – QFD .....	38
Figura 06 – Modelo conceitual de sub-conjunto para demonstração de métodos de cálculo de tolerâncias .....	49
Figura 07 – Exemplo de simulação foto-realística para validação dimensional .....	52
Figura 08 – Comparação de cotagem de tolerâncias pelos métodos cartesiano e GD&T .....	54
Figura 09 – Exemplos dos efeitos da variação dimensional sobre um requisito estético – nivelamento ( <i>flushness</i> ) – entre o capô e o farol .....	59
Figura 10 – Exemplo do efeito da variação dimensional fora de especificação para uma determinada característica significativa do produto .....	60
Figura 11 – Exemplo de um Plano de Controle .....	62
Figura 12 – Gráfico de Controle típico .....	66
Figura 13 – Desdobramento da variação total observada .....	68
Figura 14 – Fluxograma de validação de capacidade de processo .....	69
Figura 15 – Levantamento de não-conformidades para os veículos X e Y .....	78
Figura 16 – Esquema do Modelo de Gestão Dimensional para a Alfa Motors .....	80
Figura 17 – Simbologia aplicada aos fluxogramas .....	101
Figura 18 – Fluxograma do processo de definição e designação de requisitos dimensionais estéticos .....	103
Figura 19 – Fluxograma do processo de definição e designação de requisitos dimensionais funcionais .....	105
Figura 20 – Fluxograma de definição dos requisitos dimensionais estéticos aprimorado .....	107
Figura 21 – Fluxograma de análise de sensibilidade do conceito de <i>design</i> em relação à variação dimensional .....	109
Figura 22 – Fluxograma de análise dos pré-requisitos dimensionais .....	112

Figura 23 – Fluxograma atual da companhia para aprovação do cumprimento de requisitos estéticos .....	113
Figura 24 – Fluxograma proposto para companhia para aprovação do cumprimento de requisitos estéticos .....	115
Figura 25 – Fluxograma atual da companhia para alteração de requisitos dimensionais .....	116
Figura 26 – Fluxograma proposto para alteração de requisitos estéticos .....	118
Figura 27 – Fluxograma atual do processo de verificação dos requisitos dimensionais .....	119
Figura 28 – Proposta de integração da atividade de liberação de projetos com a verificação das considerações utilizadas nos modelos dimensionais .....	121
Figura 29 – Proposta de integração do plano de medição com as simulações dimensionais .....	123
Figura 30 – Fluxograma do processo atual de inspeção e validação dimensional de peças e subconjuntos ( <i>end-item</i> ) .....	125
Figura 31 – Fluxograma proposto para inspeção e validação dimensional de peças e subconjuntos ( <i>end-item</i> ) .....	126
Figura 32 – Fluxograma de validação dimensional do produto .....	128
Figura 33 – Fluxograma proposto para validação do modelo dimensional conforme processo de montagem .....	131
Figura 34 – Fluxograma proposto de suporte da Engenharia Dimensional para problemas de qualidade .....	133
Figura 35 – Modelo proposto de Gestão Dimensional aplicado ao PDP .....	138
Figura 35a – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 01 .....	141
Figura 35b – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 02 .....	142
Figura 35c – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 03 .....	143
Figura 35d – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 04 .....	144
Figura 35e – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 05 .....	145
Figura 35f – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 06 .....	146
Figura 35g – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 07 .....	147
Figura 35h – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 08 .....	148
Figura 35i – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 09 .....	149

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Exemplo de DFMEA .....	58
Tabela 02 – Exemplo de PFMEA .....	61
Tabela 03 – Metas das Gestão Dimensional em cada fase do PDP .....	73
Tabela 04 – Modelo de Análise do processo atual de gestão dimensional da Alfa Motors .....	75
Tabela 05 – Modelo da planilha de não-conformidades para o Veículo X .....	78
Tabela 06 – Modelo da planilha de não-conformidades para o Veículo X com os respectivos modo de falha .....	79
Tabela 07 – Modelo de Análise do processo atual de gestão dimensional da Alfa Motors .....	82
Tabela 08 – Modelo de Análise preenchido com informações dos modos de falha ..	98
Tabela 09 – Modelo de Análise final .....	134

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Diagrama de Pareto das não-conformidades do Veículo Y .....	96
--	----

## LISTA DE SIGLAS

CAT – *Computer Aided Tolerancing*

CRC – *Customer Concern Code*

CEP – Controle Estatístico de Processo (SPC – *Statistical Process Control*)

CMM – *Coordinate-Measuring Machine*

DDC – *Design for Dimensional Control*

DFA – *Design for Assembly*

DPMO – *Defects Per Million Opportunities*

ECM – *Engineering Change Management*

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*

GD&T – *Geometric Dimensioning and Tolerancing*

MSA – *Measurement System Analysis*

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produtos

PPM – *Parts Per Million Opportunities*

PPGETEC - MTCTI - Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Industrial

QFD – *Quality Function Deployment*

RSS – *Root Sum Square*

SSC – Sistemas, Subsistemas e Componentes

TGW – *Things Gone Wrong*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
1.1 Definição do problema .....	20
1.2 Objetivo .....	21
1.3 Justificativa do Estudo .....	22
1.4 Organização da Dissertação .....	24
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	25
2.1 DDC – <i>Design for Dimensional Control</i> .....	25
2.2 A Gestão Dimensional inserida no Processo de Desenvolvimento de Produto .....	29
2.2.1 A macro-fase de Pré-Desenvolvimento do Produto .....	31
2.2.2 A macro-fase de Desenvolvimento do Produto .....	32
2.2.2.1 Projeto Informacional .....	32
2.2.2.1.1 Diagrama de Kano .....	35
2.2.2.1.2 Matriz da Casa da Qualidade .....	38
2.2.2.2 Projeto Conceitual .....	40
2.2.2.3 Projeto Detalhado .....	42
2.2.2.3.1 Análise de Tolerâncias e Simulação .....	44
2.2.2.3.2 Otimização de Produto e Processo através da Análise de Tolerâncias .....	50
2.2.2.3.3 GD&T – <i>Geometric Dimensioning and                         Tolerancing</i> .....	53
2.2.2.3.4 Análise dos Modos de Falha e Efeitos – FMEA..	57
2.2.2.3.5 Plano de Controle .....	61
2.2.2.4 Preparação da Produção .....	64
2.2.2.4.1 Controle Estatístico de Processo .....	65
2.2.2.4.2 Análise de Sistemas de Medição .....	67
2.2.2.5 Lançamento do Produto .....	70
2.2.3 A macro-fase de Pós-Desenvolvimento do Produto .....	70
2.2.3.1 Acompanhar Produto/Processo .....	71

3. METODOLOGIA .....	74
3.1 Modelo de Análise .....	74
3.2 Amostragem .....	76
3.3 Instrumento .....	77
3.3.1 Procedimento de coleta de dados de não-conformidades dimensionais para o Veículo X .....	78
3.3.2 Procedimento de coleta de dados de não-conformidades dimensionais para o Veículo Y .....	79
3.4 Proposta .....	80
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	81
4.1 Passo 1 – Estabelecer o Modelo de Análise .....	81
4.2 Passo 2 – Identificação dos modos de falha .....	83
4.2.1 Coleta de dados de não-conformidades dimensionais para o Veículo X .....	83
4.2.2 Coleta de dados de não-conformidades dimensionais para o Veículo Y .....	95
4.3 Passo 3 – Preenchimento do Modelo de Análise com os modos de falha..	98
4.4 Passo 4 – Formulação de práticas de aprimoramento de gestão dimensional .....	101
4.4.1 Meta 01 – Definir claramente os requisitos dimensionais (estéticos e funcionais) do produto .....	102
4.4.2 Meta 02 – Analisar a viabilidade técnica dimensional dos conceitos de <i>design</i> do produto .....	108
4.4.3 Meta 03 – Constatar que o projeto, manufatura e processo de montagem otimizados atendem os requisitos dimensionais do produto .....	112
4.4.4 Meta 04 – Assegurar que a documentação dimensional do produto esteja correta .....	118
4.4.5 Meta 05 – Validar os requisitos dimensionais do produto com protótipos através do plano de medição .....	124

4.4.6	Meta 06 – Validar a capacidade do processo de manufatura conforme intenções de projeto .....	129
4.4.7	Meta 07 – Retroalimentar o desenvolvimento de produtos com informações da produção .....	131
4.5	Passo 5 – Preenchimento do Modelo de Análise com as práticas de aprimoramento .....	134
4.6	Passo 6 – Construção do modelo de gestão dimensional no PDP .....	138
5.	CONCLUSÕES .....	151
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	154
	APÊNDICE A – Tabela de não-conformidades do Veículo X categorizadas por modo de falha .....	157
	APÊNDICE B – Tabela de não-conformidades do Veículo Y .....	162

## 1. INTRODUÇÃO

Para garantir a sustentabilidade no mercado competitivo global de hoje, as organizações manufatureiras e de desenvolvimento de produtos devem balancear efetivamente três variáveis críticas – custo, qualidade e tempo de entrega – as quais usualmente são consideradas antagônicas. No caso da indústria automotiva, com os novos entrantes no mercado, montadoras chinesas e indianas que vêm praticando custos mais baixos de produtos, a qualidade se tornou um fator fundamental de sobrevivência para as indústrias automotivas tradicionais, americanas, européias e japonesas que, além dos esforços de redução de custo dos veículos, ainda se vêem diante do desafio de elevar a qualidade de seus produtos, vista como diferencial na decisão de compra dos clientes.

Sabe-se que a variação dimensional de fabricação e montagem de produtos multi-componentes, como por exemplo veículos, é um fator de degradação da qualidade. Essas variações afetam o acabamento e função dos mesmos, e por isso a má gestão dimensional tem como consequências a baixa qualidade, aumento de custos e aumento do tempo de entrega e de ciclos de produção.

Nas décadas de 70 e 80, ferramentas de qualidade que tinham o objetivo de gerir a variação dimensional, tal como o Controle Estatístico de Processo (CEP), ganharam grande destaque na produção de veículos. Essa ferramenta consistia na aplicação de métodos estatísticos para monitorar e controlar as variações dos processos de manufatura, de modo a assegurar a produção de produtos conformes. Também proporcionava a habilidade necessária aos engenheiros de manufatura para examinar um processo e suas fontes de variação de forma objetiva, permitindo a detecção precoce e a prevenção do problema, eliminando, dessa forma, desperdícios, a fim de que produtos não-conformes não chegassem aos clientes. Apesar da grande contribuição dessa ferramenta, o CEP podia ser empregado apenas quando o produto estava em produção. Ou seja, projetos não robustos às variações dimensionais deixavam para a manufatura o legado de conviver com esses problemas, demandando um CEP cada vez mais rigoroso, levando a um custo mais alto de produção e a um aumento do tempo de ciclo. Sendo assim, mais tarde, na década de 90, percebeu-se a necessidade de conceber projetos mais robustos a essas variações dimensionais, ou seja, projetos que levassem em

consideração o efeito do acúmulo de variações inerentes dos processos de fabricação e montagem nos atributos funcionais e estéticos do veículo. Dessa forma surge o *Design for Dimensional Control* (DDC), que é uma metodologia de engenharia combinada com ferramentas de simulação computacional, a qual procura entender as fontes de variação, selecionar características do produto e dos processos de manufatura que as minimizam, e usar apropriados métodos para comunicar o nível esperado de variação e maneiras designadas para controlá-la. Neste caso, o CEP passa a ser apenas parte de um conjunto mais amplo de práticas. O objetivo é criar um *design* e processo que absorvam o máximo de variação possível, sem afetar a função e a estética do produto. Com isso percebe-se a importância dessa disciplina no âmbito de organizações manufatureiras que buscam atingir capacidade a nível mundial e status para seus produtos e processos.

Os principais pilares do DDC podem ser citados da seguinte forma, segundo Liggett (1993):

- I. Simulação computacional – métodos analíticos para o cálculo do acúmulo de tolerâncias para uma determinada característica de um produto;
- II. Dimensionamento Geométrico & Tolerâncias, que vem da expressão em inglês *Geometric Dimensioning and Tolerancing* (GD&T) – comunicação clara das especificações de engenharia para sistemas, sub-sistemas e componentes, envolvendo desde a liberação de desenhos de engenharia até a definição de planos de controle de manufatura;
- III. Controle Estatístico de Processo – monitoramento com o intuito de manter o processo sob controle conforme especificações definidas no plano de controle de manufatura; e
- IV. Gestão de Variação Dimensional – conjunto de esforços desde o desenvolvimento de produtos, com a engenharia simultânea, até a produção, a fim de garantir o fluxo de comunicação claro da engenharia de produto para a manufatura e vice-versa.

Percebe-se uma vasta disponibilidade de referências bibliográficas disponíveis cobrindo os três primeiros pilares do DDC, tais como livros, dissertações e artigos. No entanto, no que diz respeito ao gerenciamento da variação dimensional no

desenvolvimento de novos produtos, essa questão é tratada de forma genérica e a aplicação prática de modelos e métodos de gestão praticamente não existe.

Este trabalho, tem o intuito de estudar essa lacuna, mostrando como a gestão dimensional tem sido aplicada em uma montadora de veículos, a qual denominaremos de Alfa Motors, por motivos de confidencialidade de informações. O objeto do estudo será o Centro de Desenvolvimento de Produtos da montadora no Brasil. Será analisada uma amostragem de não-conformidades dimensionais ocorridas tardiamente no processo de desenvolvimento de produtos da montadora, buscando-se entender as falhas no seu processo de gestão dimensional que permitiram a ocorrência dessas não-conformidades. Com isso, propor práticas de aprimoramento de gestão dimensional com o apoio da literatura disponível sobre o tema, de modo que seja possível antecipar as não-conformidades na fase de projeto do produto, gerando-se soluções para otimizar o projeto e processo. O objetivo é mostrar, de forma prática, como a gestão dimensional pode proporcionar projetos de melhor qualidade, redução de custos tanto de desenvolvimento quanto de produção e garantia, redução de tempo de entrega do produto para o mercado (*design to market*) e redução de tempo de ciclo de produção.

## **1.1 Definição do problema**

O foco desta dissertação está na proposta de um modelo de aplicação da gestão dimensional na Alfa Motors, especificamente no seu Centro de Desenvolvimento de Produtos do Brasil. Percebe-se, hoje, nessa companhia, o desenvolvimento de várias atividades ligadas ao DDC sendo conduzidas por times diversos, entretanto com uma baixa interatividade entre elas. As responsabilidades de cada time não estão claramente definidas nesse contexto e, dessa maneira, as informações fluem inconsistentemente do desenvolvimento de produtos para a produção e vice-versa. Isso tem causado perdas de informações valiosas ao longo do desenvolvimento, o que contribui para o alto índice de não-conformidades identificadas nas fases de validação com protótipos, lançamento e produção. Isto tem ocasionado: (a) modificações tardias de projeto, quando os custos são mais elevados; (b) atrasos no lançamento de novos produtos; (c) perda de qualidade, demandando operações de retrabalho na manufatura; e (d) elevação do tempo de ciclo da

produção ou até paradas de linha. Estas dificuldades também têm contribuído para o aumento do número de reclamações de clientes, que além de elevar os gastos com garantia, causam a perda de confiabilidade com a marca e quedas de vendas de novos produtos. Enfim, a má gestão dimensional desde o projeto até a produção tem contribuído diretamente para o aumento de custos de desenvolvimento e produção dos veículos da Alfa Motors, para a baixa qualidade, para o aumento de tempo de desenvolvimento de novos produtos, e para o aumento de ciclos de produção.

Sendo assim, este trabalho tem o intuito de dar resposta à seguinte questão: como a gestão dimensional poderia atuar no desenvolvimento de novos veículos na Alfa Motors, para assegurar o fluxo de comunicação adequado da engenharia do produto para a manufatura e vice-versa, de modo a garantir a identificação e correção de não-conformidades nas fases de projeto do produto?

## **1.2 Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo geral estabelecer um conjunto de práticas de gestão dimensional para a Alfa Motors – Centro de Desenvolvimento de Produtos do Brasil – no desenvolvimento de novos veículos, a fim de assegurar o fluxo de comunicação da engenharia de produto para a manufatura e vice-versa. Estas práticas visam reduzir a ocorrência de não-conformidades de origem dimensional nas fases de construção de protótipos para validação de produto e processo, e também durante a produção em série. Tais práticas serão estabelecidas a partir de um modelo genérico de Processo de Desenvolvimento de Produto, evitando-se assim apresentar o processo da Alfa Motors, que é uma propriedade intelectual confidencial da companhia. Os seguintes objetivos específicos devem ser cumpridos de forma a atingir o objetivo geral:

- a. Estabelecer um modelo de análise para a identificação dos modos de falha no processo atual de gestão dimensional da Alfa Motors;
- b. Fazer o levantamento de amostras de não-conformidades dimensionais identificadas tardiamente no desenvolvimento de produtos da Alfa Motors, e

entender os modos de falha das mesmas no seu processo atual de gestão dimensional. Analisar também o impacto dessas não-conformidades para a companhia; e

- c. Propor práticas de gestão dimensional para que esses tipos de não-conformidades sejam identificadas e corrigidas antecipadamente no Processo de Desenvolvimento de Produtos da companhia.

### **1.3 Justificativa do Estudo**

A obtenção de um processo gerencial robusto para tratar variações dimensionais impacta favoravelmente os três pilares de sustentabilidade das organizações manufatureiras e de desenvolvimento de produtos – custo, qualidade e tempo de entrega – e por isso vai ao encontro do seu objetivo maior, que é atingir competitividade a nível mundial e status para seus produtos e operações, tornando-as capazes de atuar num mercado cada vez mais disputado.

Suponha-se o desenvolvimento de um novo veículo no qual as variações dimensionais inerentes dos processos de fabricação dos componentes e montagem não são cuidadosamente analisadas durante o detalhamento do projeto, permitindo a liberação de desenhos de engenharia com tolerâncias e referenciais (*datums*) especificados incoerentemente, sem uma análise crítica dos impactos que essas tolerâncias podem ter nos atributos estéticos e funcionais do veículo. Esse tipo de falha no projeto do produto pode resultar em vários tipos de não-conformidades, como, por exemplo, condições de não-montagem de subconjuntos, mesmo que seus componentes estejam dentro das tolerâncias especificadas. Para analisar o impacto desta disfunção nos pilares de sustentabilidade das montadoras, considerem-se dois cenários.

O primeiro cenário supõe que essas não-conformidades sejam verificadas durante a construção/validação dos protótipos do produto. Neste caso o time de desenvolvimento pode chegar à conclusão de que a única maneira de solucionar a não-conformidade é fazer uma modificação de projeto de um ou mais componentes. Com o desenvolvimento nessa fase, muitas vezes o ferramental definitivo de fabricação de alguns componentes já

está pronto e pode acontecer que essa modificação impacte justamente o referido ferramental. Dessa maneira, esse tipo de falha de gestão dimensional levaria a um aumento de custo de desenvolvimento, pois seria necessária uma modificação tardia de ferramental, a qual é bem dispendiosa. Além dos impactos no custo, ocorre o impacto no tempo de desenvolvimento do produto, pois este precisaria ser novamente validado. Sendo assim, nesse primeiro cenário temos um impacto direto de custo e tempo de entrega para a empresa.

O outro cenário, ainda mais crítico, seria aquele em que essas não-conformidades não tenham sido percebidas durante a construção/validação dos protótipos. Neste caso, o produto seria lançado e, a partir das condições de uso pelos consumidores, problemas derivados dessas não-conformidades começariam a surgir, resultando em reclamações e gastos com garantia para resolvê-los. Dependendo da gravidade das não-conformidades e dos problemas gerados, poderia ser necessário até mesmo um *recall* do produto. Como resultado disso, tem-se um custo enorme para a empresa, e um risco para qualidade, pois a imagem da empresa teria sido significativamente impactada. Além disso, paradas de linha de produção podem ser necessárias até que ações de contenção sejam tomadas, impactando na entrega de produtos para o mercado. Dessa maneira, esse segundo cenário ilustra um caso em que as três variáveis críticas para a empresa são impactadas negativamente: custo, qualidade e tempo de entrega.

O fato é que as variações dimensionais podem ser minimizadas e gerenciadas por intermédio da Gestão de Variação Dimensional, que tem o objetivo de definir práticas para o time de desenvolvimento de produto, de maneira que seja possível verificar se o projeto e os processos otimizados são capazes de atender aos requisitos dimensionais do produto e, caso não o sejam, determinar o que precisa ser feito para cumprir esses requisitos, assegurando a qualidade funcional e estética ainda na fase de projeto detalhado do produto. Com as referidas práticas, assegura-se a adequada comunicação da engenharia de produto para a manufatura e vice-versa, através da liberação de desenhos corretamente especificados com tolerâncias e referenciais (*datums*), e também através da definição de planos de controle, garantindo-se a continuidade e integridade das informações projetadas, tanto nos protótipos quanto na produção. Por fim, a gestão de variação dimensional vai ainda ao encontro dos conceitos de engenharia simultânea,

promovendo as discussões técnicas de engenharia e manufatura, de maneira a desenvolver projetos robustos com baixa sensibilidade às variações dimensionais.

#### **1.4 Organização da Dissertação**

O presente trabalho é composto por este Capítulo 1, Introdução, onde foi feita a contextualização do problema, e por mais quatro capítulos, com os seguintes conteúdos:

- Capítulo 2. Revisão da Literatura: contém um levantamento dos conceitos disponíveis sobre DDC, e como suas ferramentas e práticas estão inseridas no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), de maneira que sirva de base para a construção de um modelo de análise específico para a verificação da gestão dimensional da Alfa Motors;
- Capítulo 3. Metodologia: apresentam-se os procedimentos metodológicos da pesquisa, ou seja, a sequência lógica de atividades a serem feitas, a fim de responder ao problema proposto;
- Capítulo 4. Análise dos Resultados: são apresentados os resultados encontrados, seguindo a metodologia proposta, identificando-se o conjunto de práticas de Gestão Dimensional atual da empresa e estabelecendo-se um conjunto aprimorado;
- Capítulo 5. Conclusões: são apresentadas as conclusões, contribuições e limitações da pesquisa.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Com o intuito de responder à pergunta que motivou o desenvolvimento desta pesquisa, ou seja, "*como a gestão dimensional poderia atuar no desenvolvimento de novos veículos na Alfa Motors, para assegurar o fluxo de comunicação adequado da engenharia de produto para a manufatura e vice-versa, de modo a garantir a identificação e correção de não-conformidades nas fases de projeto do produto?*", este capítulo aborda os elementos conceituais para a construção do modelo de análise do trabalho, buscando destacar as atividades que se relacionam com a questão do gerenciamento dimensional em cada fase do desenvolvimento do produto.

Inicialmente apresenta-se uma visão geral do que é *Design for Dimensional Control* com o foco no pilar da gestão dimensional, seus princípios e importância no suporte ao desenvolvimento de produtos, conforme podemos encontrar na literatura disponível. A seguir, mostra-se como o DDC está inserido no Processo de Desenvolvimento de Produto.

### 2.1 DDC – *Design for Dimensional Control*

Sleath (1997) destaca a importância do gerenciamento dimensional dentro do desenvolvimento de produtos, afirmando que, durante o desenvolvimento, produtos são projetados para satisfazer a uma dada especificação baseada em dimensões exatas. No entanto, exceto para as aplicações mais exigentes, não é comercialmente factível produzir componentes para uma mesma dimensão exata. Um grau de variação inerente permanece sobre os processos de fabricação, montagem e inspeção. Essa variação inerente causa discrepâncias entre as dimensões intencionada e real dos componentes. Variações que ocorrem durante a fabricação e montagem dos componentes combinam-se e produzem variações nas dimensões críticas do produto final, as quais, se não apropriadamente controladas, podem resultar em perdas significantes de valor, qualidade, funcionalidade e performance. Daí a necessidade de gerir essas variações e, por isso, o

*Design for Dimensional Control* assume importância na concepção de produtos complexos.

Conforme Huang (1996), o DDC consiste na gestão de variação dimensional durante o projeto, fabricação e montagem de produtos, de maneira que, mesmo considerando-se condições extremas de variação, ainda assim o produto atenda a seus objetivos funcionais e/ou estéticos. O objetivo é atender às expectativas do consumidor, sem a necessidade de retrabalhos ou operações de refinamento pelos operários no "chão de fábrica", nas operações de fabricação e montagem. O DDC vem sendo cada vez mais relevante na fabricação de bens manufaturados dos mais diversos tipos, como carros, aviões e eletrodomésticos. É consistente com os princípios da engenharia simultânea, pois envolve a participação de times multifuncionais em todo o processo de desenvolvimento de produto, desde o projeto até a fabricação.

O objetivo do DDC não é eliminar a variação dimensional, o que seria impossível, mas, ao menos, minimizá-la ou gerenciá-la, ou seja, entender as fontes de variação, como elas se comportam, seus impactos na funcionalidade e/ou estética do produto final, e facilitar o desenvolvimento de projetos otimizados, robustos a essas variações, de maneira que atendam às expectativas dos clientes. Dessa forma, assegurar-se que o projeto e processos selecionados de produção são robustos e capazes de atingir a especificação requerida a um mínimo custo. Na realidade, o DDC minimiza os efeitos prejudiciais de variação dimensional oriundos de inovações de *design*, eliminando-se todas as fontes de variação desnecessárias e, então, através de uma seleção criteriosa dos processos de produção mais apropriados e controles de qualidade efetivos, controlar sistematicamente a variação remanescente.

Segundo Sleath (1997), na indústria automotiva ou aeroespacial, a aplicação do DDC tem os seguintes objetivos:

- Rever as especificações do sistema. Definir dimensões críticas, em termos das principais características dos componentes que governam os atributos essenciais do sistema e definir limites para a máxima variação dimensional permissível;
- Investigar as relações físicas entre os vários componentes e dispositivos de montagem e inspeção que governam as dimensões críticas do sistema. Determinar a sequência de montagem, as principais interfaces e características dos componentes que controlam a posição relativa de todos os componentes acoplados;

- Estabelecer a variação conhecida e esperada na geometria e localização dos componentes;
- Modelar e analisar a manufatura, inspeção e montagem dos componentes, incluindo subconjuntos, para prever a amplitude e causas-raízes de variação nas dimensões críticas e a probabilidade de permanecer-se dentro dos limites estabelecidos;
- Testar várias alternativas de cenários para determinar o melhor *design* e os mais apropriados processos de produção, para resultar em um produto robusto que satisfaça suas especificações. Documentar a inspeção dos processos de montagem, localização de montagens e tolerâncias aceitáveis para as principais características do produto; e
- Usar o modelo analítico como um quadro de referência para a capacidade de processo, como progressos de trabalho de desenvolvimento até a produção completa, ou seja, utilizar um modelo de simulação dimensional para, primeiramente provar que o produto e processo, conforme intenções de projeto, são capazes de atender os requisitos dos consumidores ainda nas fases de projeto do produto; em seguida utilizar este modelo como parâmetro para validação dimensional dos protótipos; e, por fim, como parâmetro para validação de capacidade do processo.

Ainda segundo Sleath (1997), com a implementação do DDC nas organizações de desenvolvimento de produtos e manufatureiras os custos de desenvolvimento são minimizados por se "fazer certo" durante a fase de *design*, evitando atrasos e custos muito mais altos de modificações de *design* após o congelamento do mesmo, por exemplo, durante a construção de protótipos ou, ainda pior, na produção. Outra vantagem é que os custos de produção são mantidos baixos pela redução da necessidade de ajustes ou retrabalhos, reduzindo-se desperdícios. A implementação do DDC contribui, também, para a redução da necessidade de peças precisas, operações exatas de montagem ou um rigoroso controle de qualidade. Huang (1996) apresenta, de outra forma, os benefícios do DDC:

- Maior facilidade de fabricação e montagem (menos descarte e retrabalho);
- Melhor ajuste e acabamento (*Fit and Finish*), impactando diretamente na estética do produto;
- Redução de necessidades de ajustes no "chão de fábrica";
- Melhoria de fluxo de fabricação (menos etapas ou operações de ajuste);

- Redução de tempos de ciclo;
- Redução de complexidade (menos mudanças de projeto, operações de manufatura mais simples);
- Aumento de consistência e confiabilidade; e
- Melhor manutenibilidade e facilidade de reparo.

Huang (1996) também faz uma reflexão sobre como a questão dimensional é abordada nas organizações manufatureiras. Resumidamente, ele afirma que no ambiente de manufatura, devido às pressões por resultado de produtividade, o que se vê são medições convenientes sendo feitas, assumindo que se o produto não está quebrando, ao ponto de parar o processo de manufatura, então não é necessário consertá-lo. Essa postura tem levado a uma incapacidade de se olhar para o processo e observar a infinidade de "fábricas ocultas" que são criadas, a fim de se reparar/refinar operações de fabricação e montagem, de modo a se obter aceitação e passar o problema para a etapa (ou time) seguinte. Isso tem deixado aos operários do "chão de fábrica" o legado de refinamentos e ajustes que geram um *expertise* desnecessário decorrente desses problemas, o qual, curiosamente, passa a ser fonte de orgulho perante o seu time de trabalho. Mais lamentável ainda é quando a engenharia de produto e processo combinam em demandar tal *expertise* dos operadores. O que essas "fábricas ocultas" fazem, na verdade, é contribuir para uma série de problemas operacionais e de qualidade do produto, pois logicamente não deve caber ao operador, que tem uma visão parcial do produto/processo, imaginar o impacto que qualquer ajuste na sua operação terá numa operação de montagem subsequente ou até mesmo quando o produto estiver em uso pelo consumidor. Na visão do citado autor, a minimização/eliminação dessas "fábricas ocultas" deve, sim, recair sobre os ombros dos engenheiros de produto e processo, cabendo aos mesmos eliminar qualquer possibilidade de ajuste por parte dos operadores, assegurando repetibilidade e reprodutibilidade na produção. Em decorrência dessa deficiência, emergiu a necessidade de criar ferramentas, técnicas e métodos que possibilitem aos engenheiros perceber esses problemas e criar soluções robustas para evitá-los. Surge daí o DDC, que reúne os meios necessários para minimizar e gerenciar a variação dimensional.

O DDC concentra-se sobre o uso de ferramentas analíticas para quantificar o impacto que as variações inerentes de processo têm sobre os atributos e performance do produto final. Na prática, o DDC tem provado ser mais do que uma ferramenta de *design* usada em um certo estágio do desenvolvimento de produtos. Desde a definição das especificações iniciais do produto até a produção existem questões e decisões que determinarão a integridade dimensional do produto final. Essas ferramentas analíticas formam a base do DDC, que é uma abordagem sistemática, uma disciplina para a qualidade dimensional, do começo ao fim do trabalho de desenvolvimento e durante a produção.

A abordagem do DDC requer o uso de técnicas analíticas, baseadas em computação avançada, para prever a provável amplitude de variação e suas principais causas nas características críticas do produto. Existe uma variedade de *softwares* comerciais disponíveis no mercado, que permitem que o *design* do produto e os processos de produção sejam testados durante a fase de Projeto Detalhado, tais como o VisVSA da Siemens e o 3DCS da Dassault Systems. Isso dá ao time de desenvolvimento uma chance de resolver problemas, comparar alternativas e otimizar o *design* do produto e os processos de produção, antes de confirmar o pacote final do projeto.

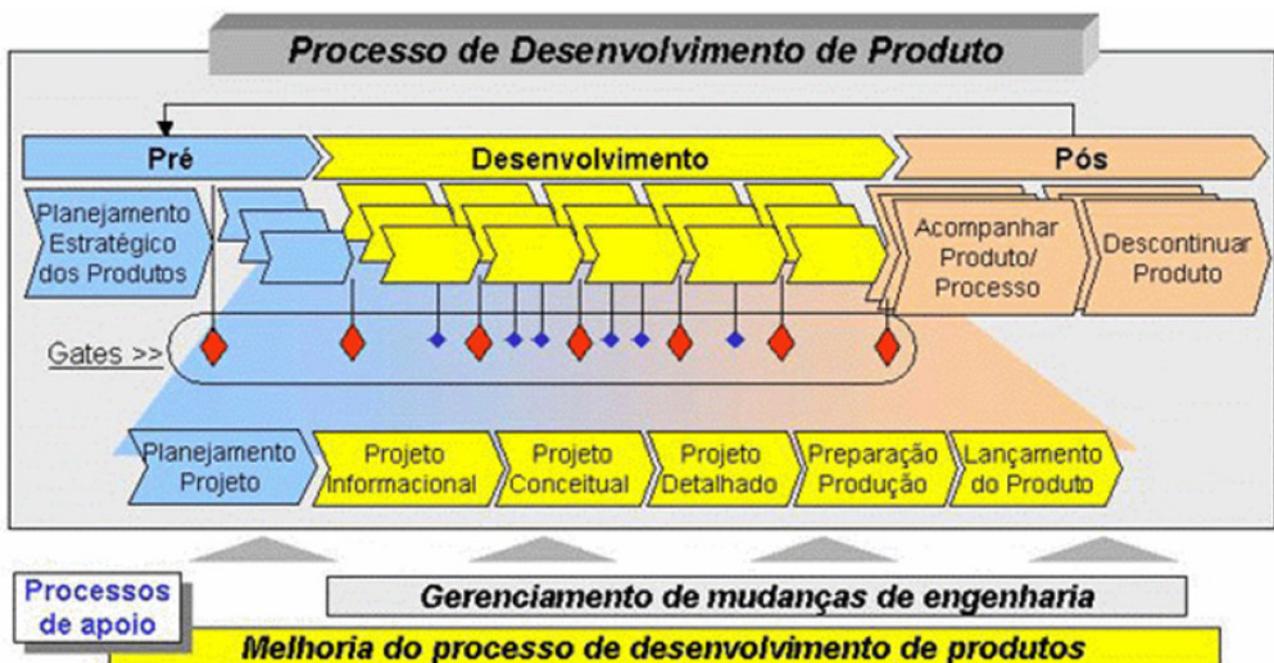
A seguir discute-se como as práticas de DDC ligadas à gestão dimensional se manifestam nas múltiplas etapas do processo integrado de desenvolvimento e produção de um produto complexo.

## **2.2 A gestão dimensional inserida no Processo de Desenvolvimento de Produto**

A fim de analisar como a gestão dimensional está inserida no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), utilizaremos o modelo genérico proposto por Rozenfeld et al (2006) para entender as diversas fases desse processo, seus principais objetivos e metas, e, com base nas publicações dos diversos autores ligados ao DDC, compreender como esta metodologia deve estar inserida naquele processo, a fim de apoiar a entrega de produtos mais robustos, de melhor qualidade, com redução de custos e de tempo, tanto de desenvolvimento (*design to market*) quanto de produção.

O intuito deste tópico não é analisar os diversos modelos existentes de processos de desenvolvimento de produtos, mas, sim, apenas utilizar um modelo genérico como referência para definir as atividades e metas da gestão dimensional, alinhadas aos objetivos de cada fase do desenvolvimento. Por mais que diferentes autores proponham diferentes modelos, com diferentes fases, os objetivos ao longo do desenvolvimento acabam sendo comuns a todos os modelos. Sendo assim, para se atingir a intenção do presente trabalho, que é a de analisar como a gestão dimensional está inserida no PDP, considerou-se que a utilização de qualquer modelo genérico de Processo de Desenvolvimento de Produto conduziria aos mesmos resultados. Com isso, foi escolhido o modelo de Rozenfeld et al (2006), por ser um modelo bem conhecido, por ser de fácil compreensão e por refletir o modelo de desenvolvimento de produtos da Alfa Motors. A Figura 01 apresenta o referido modelo, com a divisão do PDP nas três macro-fases, "Pré-Desenvolvimento", "Desenvolvimento" e "Pós-Desenvolvimento", com suas respectivas fases.

Figura 01 – Modelo genérico do PDP de Rozenfeld et al (2006)



Fonte: Rozenfeld et al (2006, p. 44).

Esse modelo genérico, alinhado com as metas e atividades de DDC para cada fase, sustentará a criação de propostas de aprimoramento de práticas de gestão

dimensional para suprir as falhas identificadas no processo da Alfa Motors, conforme será mostrado nos Capítulos 3 (Metodologia) e 4 (Análise dos Resultados) do presente trabalho.

### *2.2.1 A macro-fase de Pré-Desenvolvimento do Produto*

Conforme Rozenfeld et al (2006), a missão da macro-fase de Pré-Desenvolvimento é definir, de maneira robusta, o portfólio de projetos a serem desenvolvidos pelo time de Desenvolvimento de Produtos; ou seja, garantir que o direcionamento estratégico, as idéias de todos os atores internos e externos envolvidos com os produtos, e as oportunidades e restrições de capital, tecnologia e competências sejam sistematicamente mapeados, a fim de se definir claramente onde, quando e no que investir, minimizando ao máximo esse risco. Essa fase inicia-se com o desdobramento do planejamento estratégico em um portfólio, ou carteira de projetos, e finaliza com a declaração do escopo e o plano do projeto inicial de um dos produtos previstos no portfólio, o qual será desenvolvido nas etapas posteriores. Esse Plano do Projeto, que servirá como guia no controle da execução do projeto na macrofase de Desenvolvimento do Produto, constitui-se de recursos e tarefas bem delimitadas e prazos devidamente quantificados e também serve para documentar premissas, como as decisões tomadas no Planejamento do Projeto.

Dessa forma, o Pré-Desenvolvimento é dividido em duas fases: Planejamento Estratégico dos Produtos e Planejamento do Produto. Não é escopo desta dissertação descrever em maiores detalhes essas fases, pois pouca ou nenhuma interface com o DDC deve existir nesse momento do desenvolvimento. Talvez uma análise macro de capacidade de uma nova tecnologia possa ser realizada, a fim de se verificar uma potencial melhoria que ela possa proporcionar. Porém, a probabilidade disso acontecer nesse momento é muito pequena; o mais normal é que um tipo de estudo desse seja feito na fase de Projeto Informacional ou Conceitual, a qual veremos em mais detalhes dentro da macro-fase de Desenvolvimento, a seguir comentada.

## 2.2.2 A macro-fase de Desenvolvimento do Produto

Segundo Rozenfeld et al (2006), a macro-fase de Desenvolvimento, também chamada de *Desenvolvimento de Produtos* ou *Projeto de Produtos*, inicia-se com o portfólio de projetos e planejamento dos projetos e compreende uma série de fases que vão desde a definição de requisitos do produtos, provenientes das necessidades do mercado, até a concepção do produto. Atividades típicas dessa macro-fase são:

- Definição do problema do projeto, ou seja, o que se pretende atingir ou resolver com o produto;
- Definição e documentação de especificações-metas do produto;
- Estabelecimento das estruturas funcionais do produto;
- Definição de sistemas, subsistemas e componentes do produto;
- Concepção de desenhos técnicos, cálculos de engenharia e outros documentos técnicos;
- Análises de viabilidade econômica no fechamento de cada fase, assegurando o retorno financeiro conforme previsto no Pré-Desenvolvimento;
- Ciclos de construção de protótipos, testes e otimização, até a homologação do produto;
- Definições de Manufatura: sequência de fabricação, especificações de máquinas e ferramentas, métodos de produção e outros documentos de fabricação;
- Testes de máquinas e ferramentas para produção;
- Realização da produção inicial de um lote piloto.

Apresenta-se a seguir como o DDC está inserido dentro dessas fases, indicando-se práticas, ferramentas e métodos, a fim de apoiar a meta geral de cada fase.

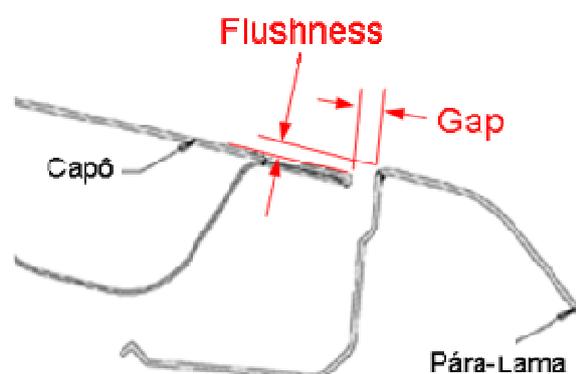
### 2.2.2.1 Projeto Informacional

Conforme Rozenfeld et al (2006), o principal objetivo dessa fase é buscar a definição das especificações-meta do produto, ou seja, um conjunto de informações que devem refletir as características que o produto deverá ter para atender as necessidades

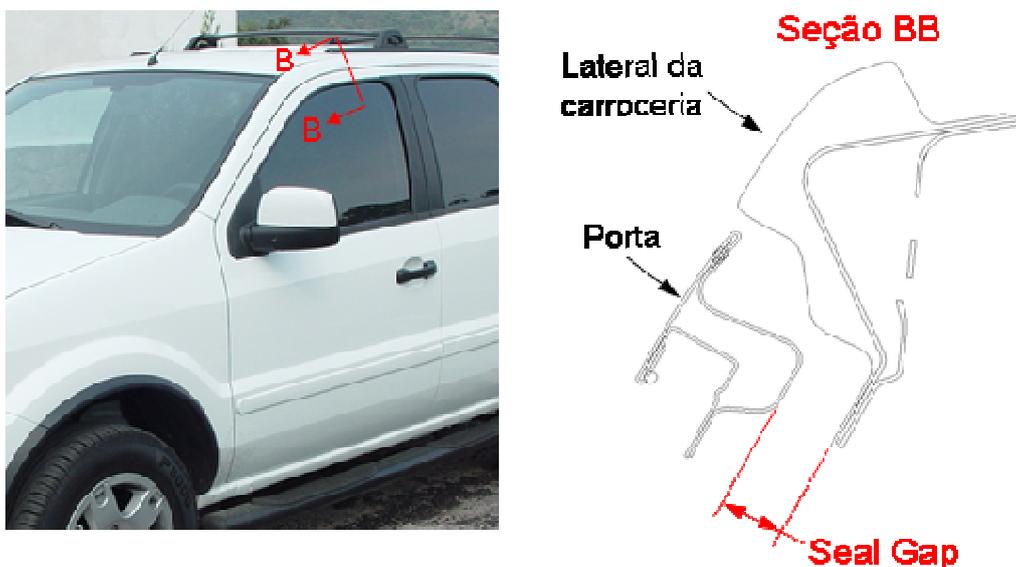
do cliente. Nessa fase, busca-se a tradução da "voz do cliente" em "requisitos do produto". Ou seja, na maioria das vezes a "voz do cliente" é tipicamente subjetiva, sem precisão, inadequada para ser utilizada como suporte às decisões técnicas nas demais fases. Faz-se necessário, então, a tradução dessas necessidades em linguagem técnica, que possa ser mensurável, nos chamados "requisitos do produto".

Craig (1996) explica que esse é o primeiro passo dentro de um processo de gerenciamento dimensional robusto, e afirma que a chave para o sucesso é obter a liberação de um documento formal contendo todos os requisitos dimensionais do produto, ou seja, todas as características finais do produto que são sensíveis a variação dimensional, tais como, no caso do produto automotivo: (a) características estéticas de "folga" e "nivelamento" entre peças adjacentes, conhecidas no meio automotivo respectivamente como *gap* e *flushness*, as quais influenciam a percepção de qualidade do consumidor; e características funcionais como, (b) variação do espaçamento de vedação das portas com a carroceria, chamado de *seal gap*, importante para evitar a entrada de poeira, água e ruídos de vento; (c) ângulos de alinhamento das rodas, cuja variação influencia diretamente no conforto de dirigibilidade; e (d) características funcionais de montagem dos principais sistemas acoplados a carroceria, tais como, bancos, tanque de combustível, escapamento, motor e transmissão, painel de instrumentos e suspensão. As Figuras 02 e 03 mostram alguns exemplos destes requisitos dimensionais para um carro.

Figura 02 – Exemplo de requisito dimensional estético – *margin & flushness*



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 03 – Exemplo de requisito dimensional funcional – *seal gap*

Fonte: elaborado pelo autor

Staif (1998) apresenta um estudo de caso demonstrando a aplicação do processo de gestão dimensional para se atingir resultados otimizados de requisitos dimensionais estéticos e funcionais, no processo de construção e instalação das portas em carrocerias automotivas. Nesse artigo, o autor reforça a importância de se definir e quantificar claramente estes requisitos, como sendo o primeiro passo no processo de gestão dimensional. No mesmo sentido, Rizvi (2002) reforça a importância de se correlacionar estes requisitos bem no início do desenvolvimento, demonstrando como um requisito funcional deve ser considerado para se definir um requisito estético. Por exemplo, a especificação de nivelamento da porta em relação à carroceria (requisito estético), que deve ser influenciada por um requisito funcional de "ruído de vento", que também especifica o quanto a porta deve estar nivelada, para evitar que esses ruídos ocorram com o veículo em movimento, os quais causam incômodo para o consumidor. A não consideração e correlação desses requisitos bem no início do programa de desenvolvimento do produto torna-se altamente dispendiosa, pois os mesmos terão de ser corrigidos mais tarde, no desenvolvimento do produto, por exemplo, nas fases de teste.

Dessa forma, entre o levantamento da "voz do cliente" e a definição dos requisitos do produto, é conveniente fazer o agrupamento e classificação dessas necessidades, verificando-se assim similaridades, eliminando-se as repetições, e também necessidades

pouco relevantes ao projeto. Esse agrupamento é chamado de "requisitos dos clientes", os quais podem ser relacionados a aspectos, tais como: desempenho funcional, estética, confiabilidade, entre outros aspectos valorizados pelo cliente.

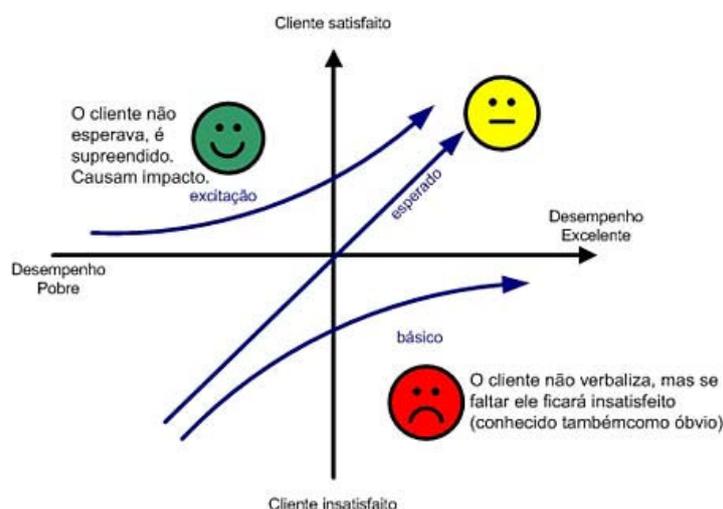
Feita a classificação dos "requisitos dos clientes", é necessário ter-se um claro entendimento de quais deles são mais ou menos relevantes para o consumidor e posicioná-los dentro do que a Companhia espera atingir com o produto a ser desenvolvido. Também é fundamental que isso seja comunicado de forma clara para todos os membros do projeto, das mais diversas áreas de atuação. Dentre as várias possibilidades de realizar esta tarefa, uma ferramenta de grande auxílio para o time de desenvolvimento de produto é o Diagrama de Kano, conforme apresentado na Figura 04, que posiciona graficamente esses requisitos dos clientes, em apoio a tomadas de decisão do time sobre onde focar no projeto, investimentos, e outras providências.

#### 2.2.2.1.1 Diagrama de Kano

Esse diagrama classifica os "requisitos dos clientes" de três maneiras distintas:

- Básicos: são os requisitos que os clientes supõem que estarão automaticamente incorporados no projeto. Geralmente não são verbalizados, pois devem estar implícitos nos requisitos funcionais do projeto. Esses requisitos geralmente não aumentam a satisfação dos clientes quando presentes no produto, mas, caso não estejam, causam grande frustração. Sendo assim, diz-se que são requisitos obrigatórios;
- Esperados: são requisitos verbalizados pelos clientes, para os quais o melhor desempenho faz aumentar, de forma linear, a satisfação do cliente;
- Promovedores de Excitação: também são requisitos não verbalizados pelo cliente, mas com efeito contrário aos básicos, ou seja, quando presentes aumentam de forma expressiva a satisfação dos clientes. Esses requisitos são necessidades ainda não percebidas pelos clientes, geralmente provenientes de inovações que, quando percebidas, "encantam".

Figura 04 – Diagrama de Kano de satisfação do cliente



Fonte: Yang (2008)

Para ilustrar como os "requisitos dos clientes" são classificados dentro do Diagrama de Kano, vamos pensar no início do projeto de um telefone celular, no ano de 2005. Um requisito básico dos clientes seria conseguir falar ou se comunicar com uma outra pessoa sem ruídos. Um requisito "esperado" seria, por exemplo, uma bateria com autonomia de 3 dias, ao invés das de 1 dia da maioria dos produtos similares do mercado. Já um requisito de "excitação" seria, por exemplo, a conexão à internet.

É importante também dizer que um requisito que era classificado como de "excitação" há 5 anos atrás pode não sê-lo mais nos dias de hoje. Por exemplo, o acesso à internet via celular, nos dias de hoje, não é considerado mais de "excitação", sendo agora "esperado", pois hoje os clientes exigem o acesso à internet e o diferencial é a velocidade de acesso. Isso é consequência de uma evolução natural do mercado.

Com os "requisitos dos clientes" agrupados e priorizados, parte-se para a tradução dos mesmos em linguagem técnica, chamados de "requisitos do produto". Esses, quando associados à descrição de desempenho esperado de forma quantitativa e mensurável são chamados de "especificações-meta do produto". Essas especificações têm o propósito de atuar como guias para tomadas de decisões, a fim de se chegar à solução do problema do projeto, e servem como critérios de avaliação. Deve-se observar eventuais correlações entre os requisitos do produto, que podem ser favoráveis ou desfavoráveis. Ou seja, poderia existir requisitos do produto que, quando melhorados para se atender a um

determinado requisito do cliente, causariam efeito negativo em um outro requisito. Por isso a importância de se definir a prioridade dos requisitos dos clientes, a fim de servir de apoio às tomadas de decisão de engenharia nas fases posteriores. Vale ressaltar também a natureza evolucionária dessas especificações, ou seja, são informações que podem mudar constantemente antes, durante ou após o desenvolvimento do produto. Essas mudanças podem ser decorrentes do nível de exigência de diferentes mercados consumidores, dos diferentes ambientes onde o produto atuará, ou do consenso entre custos, recursos disponíveis para investimento e impacto na satisfação do cliente, entre outros motivos.

Ainda na fase de Projeto Informacional, outros tipos de atividades são realizadas, tais como análise de tecnologias disponíveis e necessárias para se atingir as necessidades dos clientes, e levantamento de informações sobre produtos similares e/ou concorrentes (*benchmarking*), que é fundamental para uma correta especificação dos requisitos do produto. Com isto evita-se o sub ou super dimensionamentos que podem, respectivamente, falhar em cumprir as necessidades (levar a um erro ou desvio na solução do problema do projeto) ou elevar o custo do projeto desnecessariamente. Craig (1996) também reforça a necessidade de direcionar os requisitos dimensionais por análises de concorrentes, dados de garantia, histórico de problemas de montagem (lições aprendidas) e testes físicos para o mesmo propósito.

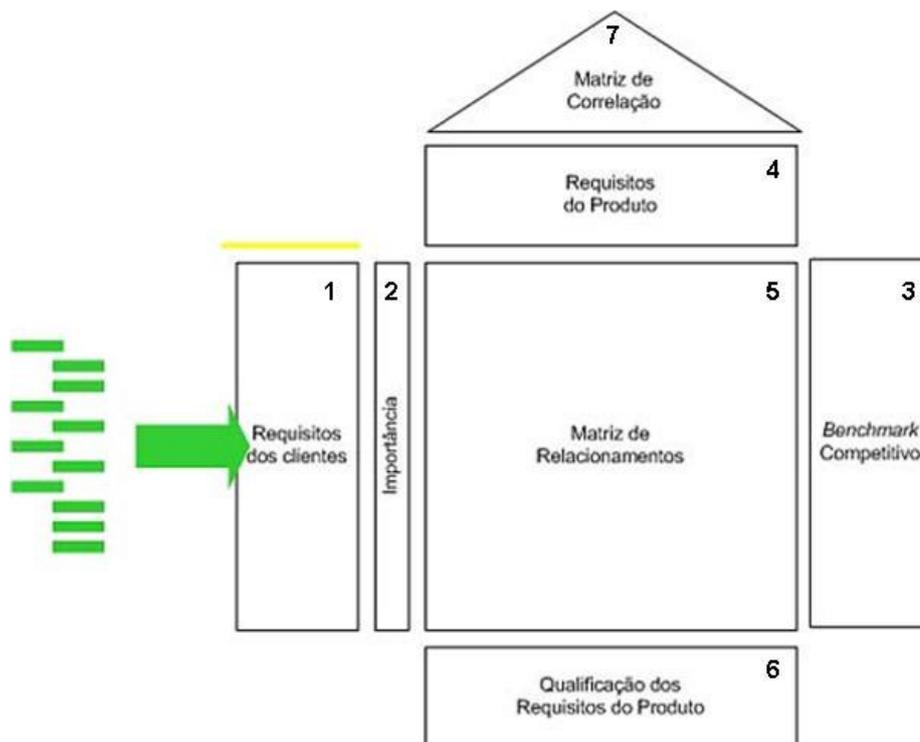
Harper (1997) afirma que o time pode entender e prever que, dado o conhecimento adquirido de outros programas (lições aprendidas e histórico de problemas de qualidade, por exemplo), somado ao novo *design* do produto e processos de manufatura, ainda conceituais, é possível que os requisitos não sejam atendidos. Nesses casos, toma-se uma das duas soluções: (a) rever o requisito, ou, mais provável, (b) iniciar pesquisas de quais ações podem ser toma um processo contínuo que vai ganhando maturidade e detalhamento ao longo da definição dos temas de *design*, até optar-se pela seleção de um tema final, quando os requisitos dimensionais devem ser aprovados pela alta gerência e representantes dos times funcionais, servindo de base para futuras tomadas de decisão de engenharia durante a fase de detalhamento do projeto.

É interessante reunir todas essas informações supra-citadas em um único documento que sirva de meio de comunicação claro para todo o time de desenvolvimento do produto. Um método altamente difundido entre as organizações de desenvolvimento de produto e manufatureiras, que reúne de maneira sistemática todas essas informações, é a Matriz da Casa da Qualidade (QFD – *Quality Function Deployment*), a qual foi desenvolvida no Japão nos anos 70 e difundida no mundo nas décadas seguintes.

#### 2.2.2.1.2 Matriz da Casa da Qualidade

A Figura 05 mostra os componentes/informações que constituem a "casa da qualidade", de forma a torná-la um documento único, consensando informações desde os requisitos do cliente até os do produto.

Figura 05 – Matriz da Casa da Qualidade – QFD



Fonte: Yang (2008)

1. Requisitos do Cliente: são atributos obtidos a partir da "voz do cliente", captada por pesquisas, dados de reclamações, garantias e outras informações obtidas dos clientes. Ou seja, representa o que o cliente espera que o produto faça, sendo também chamados

de os "QUÊs" da matriz. Conforme mencionado anteriormente, geralmente essa informação é disponibilizada de forma subjetiva;

2. Importância: a importância de cada requisito do cliente pode ser obtida com a aplicação do diagrama de Kano;

3. Benchmarking Competitivo: nesse campo, é identificada a situação atual do produto em relação aos concorrentes, comparando-se seu desempenho competitivo tanto com o de produtos dos concorrentes, quanto com o de produtos similares da empresa;

4. Requisitos do Produto: representam como será medida a habilidade do produto em satisfazer os requisitos dos clientes. Também são chamados de "COMOs". Para cada requisito do cliente deverá existir um ou mais requisitos do produto;

5. Matriz de Relacionamentos: consensa a relação entre os "QUÊs" e os "COMOs". Para cada célula da referida matriz é determinado o grau de associação entre "requisitos do cliente" e "requisitos do produto". Essa associação pode ser mostrada colocando-se um símbolo que representa a intensidade da relação de causa e efeito naquela célula;

6. Quantificação dos Requisitos do Produto: a quantificação dos requisitos irá formar o conjunto de especificações para o produto;

7. Matriz de Correlação: representa as correlações possíveis entre dois requisitos do produto e propicia um entendimento sobre a natureza, efeitos e intensidade possíveis entre os requisitos do produto. Poderão resultar tanto em interações positivas quanto negativas.

Conforme Craig (1996), em termos de Gestão Dimensional, essa fase encerra-se com a aprovação da alta gerência de *design* e manufatura, e dos principais membros funcionais desses times, de um documento formal contendo todos os requisitos dimensionais do produto, o qual pode ser viabilizado pela construção de uma matriz QFD ou não. Seguindo-se todas as atividades anteriores, como agrupamento e classificação dos requisitos, análise dos concorrentes, análises de tecnologias disponíveis *versus* necessárias, e, por fim, priorização dos requisitos, obtem-se um consenso e entendimento geral do time e um roteiro bem definido, focado na melhoria de qualidade e redução de custos, o qual sustentará futuras tomadas de decisão de modificações de engenharia. É importante frisar que, conforme colocado por Harper (1997), à medida que o *design* vai ganhando maturidade ao longo das demais fases do desenvolvimento, esses requisitos

podem ser refinados conforme consensos de engenharia. Sendo assim, pode-se definir como principal meta da gestão dimensional, na fase de Projeto Informacional, a definição clara dos requisitos dimensionais (estéticos e funcionais) do produto, sendo esta a sua primeira meta dentro do processo de desenvolvimento de produtos.

#### 2.2.2.2 *Projeto Conceitual*

Segundo Rozenfeld et al (2006), o objetivo da fase de Projeto Conceitual é a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema do projeto. A partir da definição desse problema, a fase inicia-se com o modelamento funcional do produto a ser desenvolvido, partindo-se de uma função global e em seguida pelos seus desdobramentos, até que se obtenha a estrutura de funções do produto, seguindo-se uma estrutura de desdobramento do tipo *top-down*. Em termos de gestão dimensional, entende-se que esta função global reúne os requisitos dimensionais funcionais e estéticos do produto. A estrutura de funções do produto reúne os parâmetros ou pré-requisitos que devem ser cumprido nas etapas do processo de montagem, a fim de assegurar o cumprimento da função global (ou requisitos) do produto. Os parâmetros representam as tolerâncias permissíveis para as características significativas do produto.

Com a estrutura funcional definida, é hora de gerar princípios de solução que satisfaçam cada uma dessas funções, ou seja, os conceitos de meios/métodos de manufatura viáveis para atender os parâmetros do produto. Vários princípios podem ser propostos para cada função, de forma que o time parte para a seleção de princípios, sendo que a combinação desses princípios é chamada de "alternativas de solução". A partir dessas alternativas de solução deve ser definida a arquitetura conceitual do produto, com seus sistemas, sub-sistemas e componentes (SSCs), bem como as interações entre eles. Essa atividade é fundamental para a gestão e organização das fases de desenvolvimento posteriores, pois possibilitarão desenvolvimento simultâneo, definição de times e fornecedores.

Também nesta fase, busca-se a definição conceitual estética do produto, iniciando-se pela escolha, dentre as concepções geradas (temas de *design* de estilo do produto), a que melhor atende os atributos do projeto, a qual será transformada no produto final nas

fases subsequentes. Em termos de gestão dimensional, o atributo relacionado a estética na indústria automotiva é conhecido como *Perceived Quality* (Qualidade Percebida), que significa a qualidade do produto percebida por uma pessoa, através da aparência e uso do mesmo, sem testá-lo ou medi-lo, e sim apenas pela percepção visual ou operacional. Essa é uma questão fundamental, pois é o que normalmente atrai o cliente para a compra do produto, ou seja, o que torna o produto "agradável". (PERCEIVED QUALITY JOURNAL, 2011)

Os tipos de requisitos estéticos (variações permissíveis de folga e nivelamento), conforme apresentado no Projeto Informacional, impactam diretamente este atributo, e deve-se selecionar os temas ou conceitos de *design* mais robustos possíveis a essas variações, ou seja, menos sensíveis à percepção do consumidor (*Perceived Quality*). Neste momento, trata-se de apenas uma análise "qualitativa", comparando-se um conceito em relação a um outro e indicando os mais robustos, a partir de históricos de problemas de qualidade, *bechmarking*, experiência da engenharia, percepção, entre outros meios. Mais adiante, na fase de Projeto Detalhado, apresenta-se um tipo de análise "quantitativa" para avaliação deste atributo.

Mao (2008) afirma que o projeto de tolerâncias começa a partir dos requisitos funcionais para realizar o mapeamento dos requisitos da função geométrica, comportamentos geométricos e especificações geométricas. Ele propõe um método em que o modelo de representação da tolerância é considerado nessa fase, para assegurar a viabilidade da estrutura conceitual do *design*. Portanto, a incerteza da correlação de exigências da função geométrica e especificações geométricas pode ser reduzida. O grau de correspondência entre a intenção do projeto de tolerância e a especificação geométrica real pode ser melhorado. Assim, o projeto de tolerância deve ser conduzido na fase de projeto conceitual, para facilitar a fabricação e montagem do produto e reduzir custos. Esse método de projeto conceitual orientado para projeto de tolerâncias consiste de 6 estágios:

- *Estágio 1*: identificar as principais funções de ordem dimensional do produto;
- *Estágio 2*: transformar os requisitos funcionais em requisitos geométricos, os quais são obtidos pela decomposição das funções do produto, que é mapeado sobre relações de restrição geométrica e variações geométricas;

- *Estágio 3*: identificar as características significativas, ou seja, somente aquelas com profunda influência sobre as funções do produto, visto que nessa fase do *design* é impossível projetar todas as tolerâncias pois o relacionamento de restrições geométricas e a estrutura do produto ainda não estão determinadas;
- *Estágio 4*: determinar as tolerâncias dessas características críticas;
- *Estágio 5*: executar as análises de manufatura e selecionar o processo de montagem;
- *Estágio 6*: modelar virtualmente a montagem com informações de tolerâncias.

Com isso, define-se como principal meta da gestão dimensional, na fase de Projeto Conceitual, a análise da viabilidade técnica dimensional dos conceitos de *design* do produto, a qual constitui a segunda meta dentro do PDP. Ou seja, trata-se da definição dos parâmetros (características significativas) e a viabilidade (meios de manufatura) para cumprí-los, assim como a sensibilidade do conceito de *design* do produto em relação ao atributo de *Perceived Quality*.

### 2.2.2.3 Projeto Detalhado

Segundo Rozenfeld et al (2006), enquanto no Projeto Conceitual a definição dos elementos do projeto é feita de cima para baixo – *top down* – realizando-se uma série de desdobramentos do conceito do produto, indo-se de sistemas para subsistemas e, por fim, para componentes, no Projeto Detalhado o procedimento é inverso – *bottom up* – buscando-se a integração dos componentes, subsistemas e sistemas até o produto final. Nessa fase procura-se desenvolver e finalizar todas as especificações do produto, que contêm as tolerâncias dos parâmetros dentro de faixas de valores que atendam os requisitos dos clientes. Sendo assim, a atividade central dessa fase é o detalhamento de SSCs, onde também define-se por fazer ou comprar os SSCs (*make or buy decision*). No caso de compra, especificam-se tolerâncias dos componentes ou sub-sistemas e desenvolvem-se fornecedores. Sleath (1997) afirma que a especificação de tolerâncias de componentes ou sub-sistemas, nesses casos, tem sido usada como base para contratos comerciais em processos de terceirização de subsistemas, o que é uma tendência nas

organizações de desenvolvimento de produtos, e por isso a importância de definir tolerâncias das interfaces dos subsistemas nas especificações dos produtos tem aumentado drasticamente.

Em paralelo a essas atividades, é feito todo o planejamento dos processos de fabricação e montagem para o produto, que pode envolver desde o projeto de uma ferramenta ou dispositivo até o projeto de uma nova fábrica.

É nesta fase que a gestão dimensional tem a maior atuação no PDP, e, por consequência, onde ela pode agregar maior valor ao produto. Esta fase engloba três grandes metas da gestão dimensional. A primeira é constatar que o projeto, manufatura e processos de montagem otimizados atendem os requisitos dimensionais do produto. A segunda é assegurar que a documentação dimensional do produto esteja correta. A terceira é validar os requisitos dimensionais do produto com protótipos físicos através dos planos de medição. (Craig, 1996)

Com relação a esta primeira meta dentro da fase de Projeto Detalhado, existem alguns procedimentos que o time de desenvolvimento do produto poderia utilizar para chegar a essa constatação, tais como: (a) construir milhares de conjuntos/protótipos e medi-los, o que é inviável; (b) utilizar palpites baseados em experiências passadas, ainda muito utilizado por algumas organizações, mas que, no entanto, atrasa o desenvolvimento tecnológico e leva a cometerem-se os mesmos erros; ou (c) executar uma simulação de análise de tolerâncias baseada no produto e processos de montagem que se deseja projetar. Essa terceira opção é o centro do Gerenciamento Dimensional, o qual demanda a utilização das simulações para a determinação de uma combinação otimizada dos processos de montagem (sequência), dispositivos, referenciais (*datums*) e tolerâncias, a fim de se atingir os requisitos dimensionais. Ou seja, o Gerenciamento Dimensional tem o objetivo de estabelecer um *design* e processo que permitem a maior quantidade de variação sem ter um efeito adverso nos requisitos do produto e sua qualidade, o que impacta diretamente na redução de custos. A seguir, apresenta-se uma descrição sucinta dos métodos de simulação dimensional e dos modos como eles dão apoio ao desenvolvimento de projetos robustos.

### 2.2.2.3.1 Análises de Tolerâncias e Simulação

A análise de tolerâncias trata de como combinar os sistemas, subsistemas e componentes (SSCs) de maneira a otimizar o acúmulo de tolerâncias, resultando na tolerância do parâmetro final que se deseja medir ou controlar por ser um atributo crítico do projeto. O objetivo de executar uma análise de tolerâncias é determinar se o projeto, fabricação e processos de montagem otimizados atingem os requisitos dimensionais do produto final construído. O acúmulo de tolerâncias em uma montagem é proveniente das variações dimensionais e geométricas da fabricação dos componentes e de variações que ocorrem em razão dos métodos de montagem. O termo "análise de tolerância" de montagem relaciona-se ao estudo dessas variações.

Conforme Yang (2008), por definição, "tolerância" é o desvio permissível de um valor especificado ou um padrão. Já Fischer (2011) apresenta várias opções para a definição de tolerâncias, tais como:

- Opção 01: é o quão próximo da especificação nominal de localização, tamanho, forma e orientação, uma característica em uma peça deve estar;
- Opção 02: é uma especificação de intervalo de desvio aceitável de uma característica em uma peça;
- Opção 03: conforme *Merriam Webster's Collegiate Dictionary (11th edition)* – é o desvio permissível de um padrão; especialmente o intervalo de variação permitido na manutenção de uma dimensão na fabricação de uma peça.

De acordo com Fischer (2011) "análise de tolerâncias" é um termo global que inclui duas subcategorias: a primeira descreve o método usado para determinar o significado das especificações individuais de tolerância; a segunda é o processo de determinar a variação acumulativa possível entre duas ou mais características, comumente chamado na literatura de *tolerance stackup* ("acúmulo de tolerâncias").

O primeiro passo é buscar o real entendimento das especificações de dimensionamento e tolerância aplicadas a um desenho ou anotadas em um modelo. O segundo passo é executar o *tolerance stackup*, que permite ao analista de tolerâncias estudar o efeitos acumulativos de múltiplas tolerâncias. Frequentemente a distância entre duas características é escolhida como objeto de estudo, as quais tipicamente não estão

diretamente dimensionadas ou com tolerâncias estabelecidas. Por exemplo a distância entre dois componentes que não podem se tocar, tal como o o capô com o pára-lama, conforme mostrado na Figura 02 (Tópico 2.2.2.1).

Executando-se um estudo de *tolerance stackup*, a informação obtida é numérica, geralmente as distâncias mínima e máxima devidas ao acúmulo de tolerâncias, sendo esses limites o objeto de interesse. Uma vez concluído esse estudo, a informação obtida pode ser usada para determinar se uma mudança deve ser feita (a) para a geometria de uma peça ou conjunto; (b) para suas dimensões e/ou tolerâncias; (c) para as estratégias de dimensionamento usadas nos desenhos de uma peça ou conjunto, ou em anotações de modelos matemáticos 3D; e/ou (d) para o processo de montagem ou fabricação.

As variações previstas nos estudos podem ser reduzidas de várias formas: (a) o projetista pode decidir por mudar o esquema de dimensionamento e tolerâncias, ou seja, mudar os referenciais de construção, inspeção e montagem das peças e conjuntos; (b) pode mudar uma ou mais dimensões dos valores das tolerâncias para uma ou mais características; e/ou (c) peças podem até ser eliminadas de um conjunto, modificando as demais peças de acoplamento, o que elimina contribuídores do acúmulo de tolerâncias. Uma maneira muito efetiva de se reduzir variação em um conjunto é montar componentes usando um dispositivo de montagem. Uma técnica muito comum é usar características, tais como furos, para localizar componentes de encaixe em pinos de um dispositivo. A proposta desses dispositivos é reduzir variação entre características importantes de componentes de encaixe.

Sumarizando, um estudo de *tolerance stack-up* permite:

- Otimizar as tolerâncias de componentes e conjuntos em um novo projeto;
- Balancear exatidão, precisão e custo com capacidade de processos de manufatura;
- Determinar a tolerância requerida de uma peça para satisfazer uma condição final de montagem;
- Determinar as tolerâncias permissíveis de uma peça, se a tolerância de conjunto é conhecida;
- Determinar se os componentes irão funcionar corretamente nas suas condições de pior caso ou com o máximo de variação estatística;

- Determinar se a tolerância especificada de uma peça produz uma quantidade aceitável de variação entre componentes montados;
- Solucionar problemas de mau-funcionamento de componentes e conjuntos existentes;
- Determinar se problemas com componentes e conjuntos existentes é uma função do projeto ou do processo de manufatura;
- Determinar o efeito que a mudança de um valor de tolerância terá na função de montagem;
- Explorar alternativas de projeto usando componentes diferentes ou modificadas;
- Determinar como mudanças no processo de montagem afetarão a variação entre características em componentes de encaixe;
- Aplicar dimensionamento e tolerâncias funcionalmente, ou seja, traduzindo a forma como a peça será montada e cotando demais características importantes dos componentes em relação a essas referências. Isso evita acúmulo de tolerâncias desnecessárias e ambíguas.

Os principais *inputs* para a execução de um estudo de *tolerance stackup* são:

- A geometria dos componentes e conjuntos envolvidos no estudo;
- Como os componentes se encaixam na montagem, quais superfícies se tocam, o ângulo de inclinação delas e demais características das peças, utilizadas para localizar uma em relação a outra, por exemplo, furos circulares e oblongos, roscas de parafusos, arestas, entre outras;
- Os esquemas de dimensionamento e tolerância usados em desenhos de componentes e conjuntos (cotação funcional);
- Os processos de fabricação e montagem.

Existem dois métodos para executar uma análise de tolerâncias: modelamento manual e modelamento computacional. O modelamento manual refere-se a cálculos feito "à mão" ou utilizando programas de planilhas (Excel por exemplo). Tipicamente são limitados a variação linear (unidimensional). À medida em que as variações vão se tornando bidimensionais, ou num plano, o cálculo manual vai ficando mais complexo e extremo cuidado deve ser tomado para evitar redundâncias. Nesses casos já se

recomenda o modelamento computacional. Modelamento computacional é executado por programas de simulação estatística de computadores. Variações bi e tridimensionais são mais adequadas a esse método.

Os dois principais tipos de análises de tolerâncias são: o de "piores caso" (*worst-case*) e o estatístico.

### Análise de tolerâncias tipo "worst-case"

Análise tipo *worst-case* representa a maior variação possível. Conforme Yang (2008), podem assegurar que os limites de tolerância do conjunto sejam satisfeitos em todas as combinações das características das peças que compõem esse conjunto, mesmo nos casos extremos. Essa abordagem irá criar tolerâncias muito apertadas para as características das peças, o que geralmente significa um alto custo de fabricação. No entanto, sabe-se que as variações das características das peças, inerentes aos processos de fabricação, geralmente são de natureza aleatória e a probabilidade de todas serem iguais aos valores extremos (todos muito altos ou muito baixos), simultaneamente, é muito pequena. Sendo assim, o método *worst-case* tende a projetar exageradamente as tolerâncias e, por isso, ele é usado somente se o custo da não-conformidade for muito alto para o requisito do produto (por exemplo, em requisitos que afetam diretamente a segurança do consumidor), ou se for baixo o custo para manter tolerâncias apertadas nas características das peças.

A forma de se calcular a variação total pelo método *Worst-case* é:

$$WC_{tolerance} = T_1 + T_2 + T_3 + \dots T_n \quad (1)$$

onde:

$WC_{tolerance}$  = somatório de tolerâncias pelo método *worst-case*; e

$T_1, T_2, \dots, T_n$  = tolerâncias que contribuem para o acúmulo da tolerância total.

## Análise estatística de tolerâncias

Conforme Fischer (2011), a análise estatística de tolerâncias determina a provável variação máxima possível para uma dimensão selecionada, assumindo que é altamente improvável que todas as dimensões no acúmulo de tolerâncias estarão no seu pior caso, ou seja, nos limites inferior ou superior ao mesmo tempo, o que a torna mais realística que o método de análise de tolerâncias *worst case*. O objetivo é assegurar que o requisito do produto atenda sua especificação com probabilidade muito alta. É válido supor que as características dos componentes sejam variáveis aleatórias independentes, pois são provenientes de processos de fabricação diferentes e não relacionados entre si. A distribuição normal é o modelo de probabilidade atribuído a essas variáveis aleatórias mais comumente usado. Também podem ser usados dados históricos de controle estatístico de processos de fabricação para se estimar a média e desvio padrão de uma determinada característica, obtendo-se assim uma correlação ainda mais aproximada do modelo matemático.

Um dos métodos para calcular a variação total estatisticamente é o *root sum-square* (raiz quadrada da soma dos quadrados das tolerâncias), que é calculado através da fórmula apresentada abaixo:

$$RSS_{tolerance} = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 + \dots T_n^2} \quad (2)$$

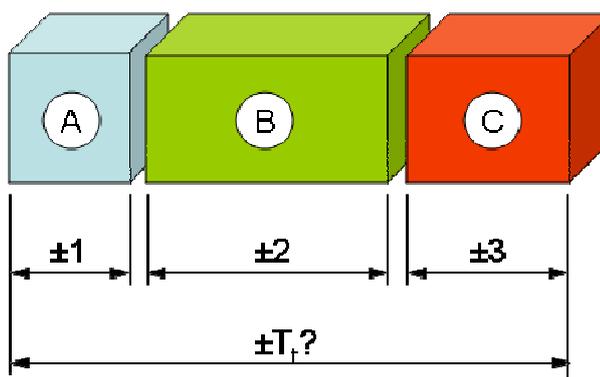
onde:

$RSS_{tolerance}$  = somatório de tolerâncias pelo método *root sum-square*; e

$T_1, T_2, \dots, T_n$  = tolerâncias que contribuem para o acúmulo da tolerância total.

Geralmente, comparando-se o valor estimado de variação total para um mesmo acúmulo de tolerâncias, a análise estatística resulta num valor menor do que o *worst case*. Podemos ilustrar isso através da aplicação desses dois métodos para calcular a variação estimada para o subconjunto conceitual representado na Figura 06.

Figura 06 – Modelo conceitual de sub-conjunto para demonstração de métodos de cálculo de tolerâncias



Fonte: elaborado pelo autor

Comparando-se os dois métodos para cálculo da variação total do conjunto formado pelos blocos A, B e C, conforme ilustração acima, temos:

pele método *worst case* (WC)

$$WC_{tolerance} = T_A + T_B + T_C$$

$$WC_{tolerance} = 1 + 2 + 3$$

$$WC_{tolerance} = \pm 6$$

pele método *root sum-square* (RSS)

$$RSS_{tolerance} = \sqrt{T_A^2 + T_B^2 + T_C^2}$$

$$RSS_{tolerance} = \sqrt{1^2 + 2^2 + 3^2}$$

$$RSS_{tolerance} = \pm 3.74$$

Podemos observar o quão significativa é a diferença entre os dois métodos para calcular a variação total. O método estatístico, no caso o RSS, resulta num valor aproximadamente 40% menor do que o método *worst case*. Isso pode ser muito benéfico do ponto de vista funcional, pois quanto menor for a variação prevista do todo, mais permitirá ao engenheiro projetista aumentar a tolerância permitida para fabricação dos componentes, o que reduz o custo de fabricação e controle, ou projetar acabamentos mais precisos, levando a menores folgas (*gaps*) e maior qualidade percebida pelos consumidores, ou até a uma combinação de ambos. No entanto, tolerâncias estatísticas devem apenas ser usadas em casos onde elas realmente são aplicadas.

Existem muitos modelos estatísticos disponíveis para análise de tolerâncias. *Root sum-square* (RSS) e Simulação Monte Carlo são os dois mais comuns. RSS é comumente usado em cálculos estatísticos de tolerância em modelos manuais e baseados em planilhas, geralmente para variáveis unidimensionais (1D). Quando as variáveis que contribuem para o acúmulo total de tolerâncias provêm de duas direções (2D), o cálculo pelo método RSS já começa a ficar complexo; e quando se analisa em três

direções (3D), torna-se praticamente inviável, o que nos leva à aplicação de modelos computacionais através de vários *softwares* comerciais disponíveis no mercado, conhecidos como CAT (*Computer Aided Tolerancing*), os quais têm como base a Simulação Monte Carlo.

A simulação Monte Carlo considera todas as variáveis do acúmulo de tolerâncias, atribui a cada uma um valor aleatório dentro de um intervalo, deriva um resultado, salva os resultados, itera esse processo milhares de vezes, calcula as médias dos resultados e apresenta a distribuição estatística cabível. É uma abordagem puramente estatística.

Além de prover o cálculo da máxima e mínima variação possível e provável, que respectivamente os métodos *worst case* e estatístico de análise de tolerâncias aqui discutidos fornecem, o método estatístico pela simulação Monte Carlo pode ainda ser usado para obter previsões do número de defeitos que podem ser encontrados para uma população de componentes e conjuntos. Pode, também, apresentar o número de peças ou conjuntos que irão cair dentro de um certo intervalo de variação e apresentar a lista dos principais contribuidores para o acúmulo de variação total que está sendo estudada, com as suas respectivas sensibilidade e percentual de contribuição. Essas informações são valiosíssimas para a otimização, tanto de produto quanto de processo, por parte dos engenheiros de produto, conforme pode ser visto no tópico a seguir.

#### 2.2.2.3.2 Otimização de Produto e Processo através da análise de tolerâncias

A otimização de produto e processo através da análise de tolerâncias pode ou não ocorrer através da Simulação Monte Carlo. Analisando-se os *outputs* dos *softwares* de CAT, podem ser observadas as causas-raízes das não-conformidades, que podem ser oriundas de alta sensibilidade de uma determinada tolerância de uma característica de uma peça ou conjunto, o que indica baixa robustez do projeto do produto da mesma e sugere modificações no seu *design*. Outro exemplo pode ser o de tolerâncias altas assumidas para peças, o que pode levar a uma necessidade de reduzir as faixas de tolerância, quando possível; também uma redução na cadeia de tolerâncias pode ser sugerida, quando ocorre um acúmulo muito alto (*stack-up*).

Conforme Rozenfeld et al (2006), podem ser tomadas as seguintes medidas para a otimização da cadeia dimensional:

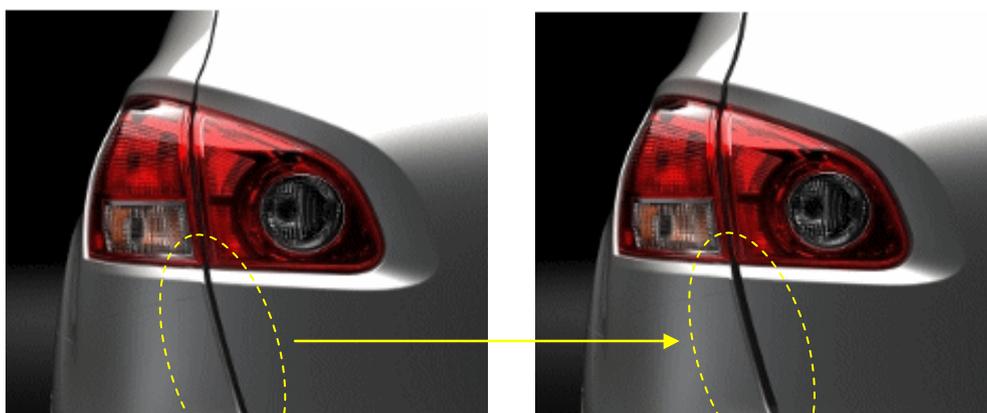
- Verificar se não existe uma cadeia mais curta, principalmente em cadeias mais complexas que pode levar a repetição/ambiguidade de itens;
- Eliminar componentes que vão de encontro ao método DFA (*Design For Assembly*) e que é amplamente empregado. Quando um componente substitui vários outros que contribuíam para a tolerância do parâmetro crítico, somente a sua tolerância entra no cálculo no lugar das tolerâncias dos itens substituídos;
- Diminuir a tolerância dos componentes (se possível daquele mais significativo), otimizar o processo e colocá-lo em controle estatístico como característica crítica ou significativa;
- Adotar outro método de montagem para o mesmo projeto, através de dispositivos de melhor capacidade ou utilização de outras referências para montagem.

Muitos autores têm publicações nos mais importantes *Journals* relacionados a engenharia automotiva, manufatura e produção, destacando a aplicação de análises de tolerâncias para otimização de produto e processo, dentre os quais destacam-se, Marziale e Polini (2011), Tada e Tanoi (2010), Fitchie e Juster (2004), Staif (1997 e 1998), Dwyer (1994) e Movahhedy e Khodaygan (2007), sendo que alguns ainda apresentam um refinamento nesses tipos de estudos, fazendo combinações com CAE (*Computer Aided to Engineering*), utilizando malhas de elementos finitos para representar a deformação de peças plásticas e de chapas metálicas durante o processo de montagem. Isto aumenta consideravelmente a representatividade dessas simulações, como é o caso Babaei e Movahhedy (2007), que apresentam, para tanto, um estudo ilustrativo desta aplicação para a lateral da carroceria de um carro.

Ainda referente à primeira meta da gestão dimensional na fase de Projeto Detalhado, que trata da constatação de que o projeto, manufatura e processos de montagem otimizados atendem aos requisitos dimensionais do produto, é válido ressaltar a crescente utilização, na indústria automotiva, de uma nova ferramenta para suporte à validação do atributo de Qualidade Percebida (*Perceived Quality*), através de simulações foto-realísticas. Esta ferramenta permite simular, com um nível de representatividade extremamente realístico, como o produto (veículo) é esperado no final da linha de montagem, com as condições extremas de variação dimensional conforme obtido nas análises de tolerâncias. Illingworth (2007) apresenta um estudo de caso onde este tipo de

ferramenta foi aplicado ao processo de gestão dimensional na Nissan. Neste caso, com a aplicação desta ferramenta, a engenharia foi capaz de descobrir problemas estéticos de *design* muito mais cedo no processo de desenvolvimento, quando os custos de modificação são significativamente mais baixos, tomando-se as devidas ações corretivas. Também a validação dos requisitos estéticos deixou de ser "qualitativa" e passou a ser "quantitativa", sendo possível refinar os valores de tolerâncias permissíveis para cada requisito, de acordo com o *design* final do produto, suportando inclusive a modificação de requisitos dimensionais estéticos, quando os mesmos não são possíveis de serem cumpridos, ou quando o investimento necessário for significativamente alto. Por fim, Illingworth (2007) afirma ainda que, ao longo do tempo, esta ferramenta está possibilitando a redução do número de protótipos físicos necessários para a validação do produto na Nissan, impactando positivamente o custo e tempo de desenvolvimento dos mesmos. A Figura 07 apresenta um exemplo da qualidade de imagem gerada por esta ferramenta, na avaliação das condições limites de folga entre a tampa traseira e a lateral de um determinado veículo.

Figura 07 – Exemplo de simulação foto-realística para validação dimensional



Fonte: [www.iconasolutions.com.br](http://www.iconasolutions.com.br) (fev, 2012)

Craig (1996) afirma ainda que, executando-se de maneira adequada as atividades de análise de tolerâncias e otimização, o time de desenvolvimento do produto beneficia-se com a confirmação antecipada de que o *design* e processo conforme especificados atingem ou não os requisitos do produto, com a previsão da quantidade e causas de variação, o que permite uma diminuição na quantidade de protótipos necessários, reduzindo-se o tempo de desenvolvimento e custos.

Ainda na fase de Projeto Detalhado, após os ciclos de otimização, deve-se atualizar as especificações das SSCs e as suas documentações, tais como desenhos técnicos com referenciais (*datums*) e tolerâncias, FMEAs e Planos de Controle. Ou seja, deve-se assegurar que a documentação dimensional do produto esteja correta, o que corresponde à segunda meta da gestão dimensional na fase de Projeto Detalhado, conforme proposto por Craig (1996).

Essa documentação inclui: esquemas de GD&T (*Geometric Dimensioning and Tolerancing*), métodos de montagem, esquemas de localização e pontos de medição para Controle Estatístico de Processo (CEP), os quais são as características significativas do projeto, que asseguram o cumprimento dos requisitos do produto. Neste momento é fundamental o gerenciamento dimensional com o papel de assegurar que essa documentação será criada com base nas entradas e saídas das análises de simulação dimensional. Por exemplo, as especificações de tolerâncias e referenciais (*datums*) para as peças e subconjuntos devem ser as mesmas utilizadas como *input* para a construção do modelo de análise dimensional; assim como os planos de controle devem ser construídos a partir dos *outputs* destes modelos, ou seja, os principais contribuidores para o acúmulo de variação dos requisitos do produto.

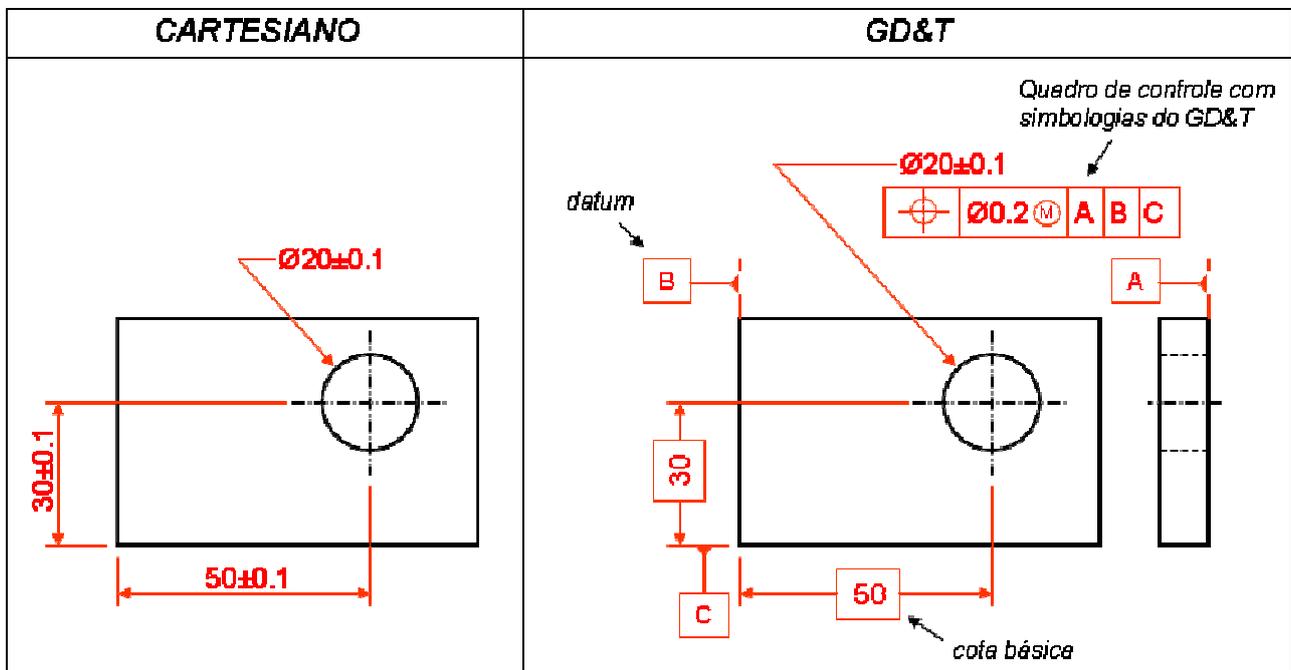
A seguir, apresenta-se a linguagem mais indicada para fazer as especificações de tolerâncias, o GD&T, o qual proporciona um entendimento claro e preciso das tolerâncias permissíveis para cada característica geométrica de peças e conjuntos, e como as mesmas devem ser inspecionadas, ou seja, os referenciais de medição destas para validação do cumprimento das especificações. E após este tópico, também apresenta-se como a gestão dimensional deve atuar na construção dos FMEAs e Planos de Controle.

#### 2.2.2.3.3 GD&T – *Geometric Dimensioning and Tolerancing*

Apesar de conhecido globalmente como GD&T (*Geometric Dimensioning and Tolerancing*), uma tradução para a língua Portuguesa seria algo como, "Estabelecimento de Dimensões Geométricas e Tolerâncias". Conforme a norma ASME Y14.5-2009, o GD&T é uma linguagem ou conjunto de símbolos que tem o objetivo de definir claramente as especificações de tolerâncias da engenharia, sendo o único método que define precisamente a geometria da peça. O GD&T foi criado em 1940 para substituir a forma

tradicional de especificação de tolerâncias, que era realizada por meio do sistema cartesiano. Este sistema tinha duas grandes desvantagens: (a) inviabilidade ou pouca representatividade para cotar peças com geometrias complexas, com curvas e figuras geométricas indefinidas, e (b) reprovação de peças boas, pois, conforme comprovado por Stanley Parker – criador do GD&T – em 1940, a zona de tolerância gerada pelo sistema cartesiano é 57% menor do que a zona criada pelo GD&T. A Figura 08 mostra exemplos de cotagem para uma peça geometricamente simples, pela linguagem do GD&T e pelo sistema cartesiano.

Figura 08 – Comparação de cotagem de tolerâncias pelos métodos cartesiano e GD&T



Fonte: elaborado pelo autor

O GD&T define também o relacionamento entre as características de uma peça e/ou conjunto, especificando quais características devem ser usadas para estabelecer a origem das medições durante uma inspeção dimensional, ou seja, quais devem ser os referenciais (*datums*) das peças e/ou conjuntos durante suas etapas de inspeção dimensional. Como é uma prática de projeto definir os referenciais de medição como sendo exatamente os mesmos referenciais de montagem das peças e conjuntos, o GD&T proporciona uma cotagem funcional, definindo tolerâncias permissíveis para o que realmente importa no produto como um todo.

Existem duas grandes vantagens da tecnologia do GD&T: a primeira é relacionada à alta precisão de comunicação da ferramenta, pois usa-se um conjunto de símbolos, regras e definições para definir matematicamente especificações de peças ou conjuntos. A segunda é que o GD&T é uma abordagem de *design* que leva o engenheiro a definir as peças com base nos requisitos do consumidor e nas funções do componente, permitindo tolerâncias máximas para a fabricação. Essa combinação, quando apropriadamente executada, resulta em alta qualidade e baixos custos.

Segundo Krulikowski (2009), o GD&T não pode tornar um *design* "ruim" em "bom", mas o uso apropriado desta ferramenta dentro de um esforço de desenvolvimento de produto bem definido, pode identificar um mau *design* antes que ele resulte em um monte de peças caras, desnecessariamente. Apesar da sua aplicação datar do início dos anos 40, ela ainda é pouco praticada. Isso é devido ao fato de que poucos gestores entendem o quão valiosa essa tecnologia pode ser.

O GD&T está inserido dentro de diversas atividades ao longo do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), conforme descreve-se a seguir:

- a. No estágio de definição dos requisitos, quando identificam-se as características críticas do produto para cumprir requisitos de performance e estéticos. Nesse momento, dimensões críticas devem ser controladas segundo uma tolerância aceitável pelo consumidor. Sendo assim a definição dos esquemas de referenciais (*datums*) é amplamente direcionada pelos requisitos do produto e estratégia de processos de manufatura;
- b. Durante o projeto detalhado, quando o GD&T é aplicado nos desenhos de engenharia de peças e conjuntos, com o intuito de definir claramente as intenções de engenharia dos requisitos dimensionais dos mesmos, conforme mencionado no início deste tópico;
- c. Em paralelo com o projeto detalhado do produto, no projeto dos processos de manufatura o GD&T é aplicado para determinar onde e como os componentes serão submetidos, ou referenciados, enquanto são fabricados e montados, ou seja, quais são as referências (*datums*) dos componentes para construção de ferramentais, dispositivos de montagem e de medição – logicamente essas características devem ser idênticas aos *datums* do produto ou extremamente

próximas a eles, do contrário variações inevitavelmente surgirão, desnecessariamente;

- d. Nos estágios de validação do produto e processo, os *datums* são empregados em todos os dispositivos usados para checar dimensões, ou para rotinas de CMM (*Coordinate-Measuring Machine*) que inspecionam variações dimensionais de peças e conjuntos;
- e. Finalmente durante a produção, quando a variação do produto devido aos processos de manufatura torna-se um fator de sobrevivência da companhia, a variação permitida é comunicada através dos planos de controle que utilizam o GD&T previamente definido nas fases de projeto, para indicar ao inspetor dimensional como fazer corretamente as medições da amostragem da produção.

Dentre os benefícios da utilização do GD&T dentro do PDP, podem ser mencionados:

- Documentação precisa e clara das especificações dimensionais de peças e conjuntos. Isso resulta em projetos que podem ser terceirizados em qualquer parte do globo;
- Definição de peças de uma maneira que proteja sua função e permita máximas tolerâncias para manufatura;
- É vital para resultados precisos de inspeção. O sistema de *datums* comunica quais características do componente (superfícies, furos, arestas, etc) devem ser usadas para tomar as referências de medição;
- Informa claramente as tolerâncias permitidas para as características das peças/conjuntos, a partir de seus referenciais (*datums*);
- É importante para cálculos precisos de análise de tolerâncias (tolerance stack-up). Isso leva à análise do efeito das variações de manufatura antes do componente ser produzido, além de antecipar problemas e endereçá-los antes do *design* ser liberado; e
- É a única forma precisa de especificar tolerâncias para peças com geometrias complexas, curvas, e sem uma forma geométrica padrão, que, no caso de um veículo automotivo, significa quase 100% das peças. Nesses casos, a cotação tradicional, cartesiana, torna-se impraticável.

#### 2.2.2.3.4 Análise dos Modos de Falha e Efeitos - FMEA

Conforme McDermott (2008), o FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) é uma ferramenta que tem o objetivo de identificar e organizar os modos de falhas potenciais e seus efeitos para um determinado produto ou processo, assim como identificar ações para prevenir e detectar esses modos de falha, objetivando a redução de insatisfação do consumidor. Essa análise é feita por meio de um documento de engenharia, que deve ser preenchido por times multi-funcionais, com *inputs* de diferentes áreas, de modo a assegurar sua robustez, cobrindo o maior número possível de modos de falha.

Neste contexto, a atividade de preenchimento do documento de FMEA pode ser altamente vantajosa, se realizada com o envolvimento de integrantes do time de Engenharia Dimensional, pois estes dispõem de dados provenientes das simulações de análises dimensionais que indicam quais são as características críticas e significativas do produto, e seus limites de variação permissível (tolerâncias), a fim de atender um determinado requisito do cliente. Um exemplo da utilização desses dados pode ser demonstrado na construção de um FMEA de produto, ou *design* FMEA (DFMEA), para um requisito do produto, tal como a variação de nivelamento (*flushness*) do farol para o capô, conforme mostrado na Tabela 01 e ilustrado na Figura 09.

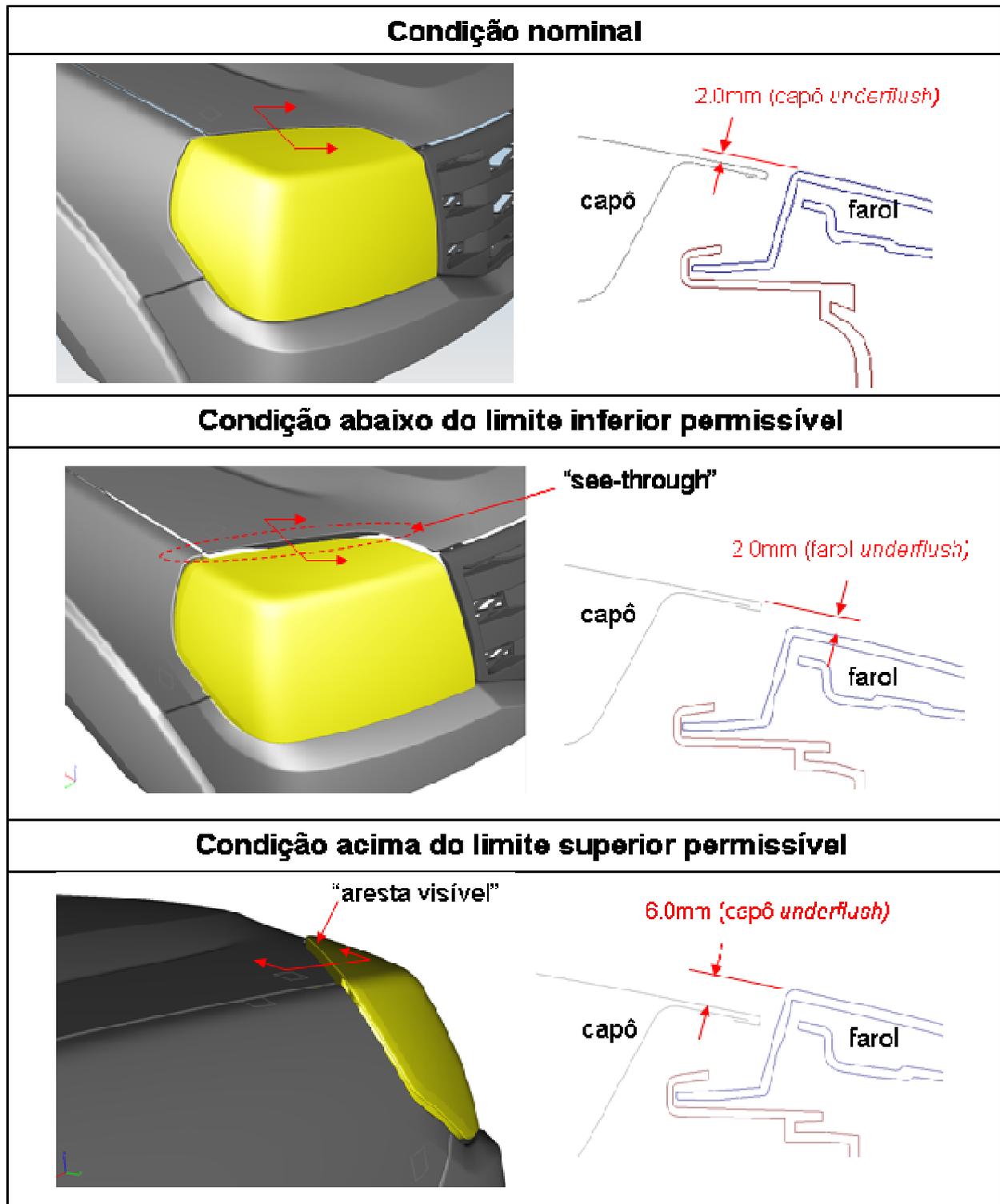
Tabela 01 – Exemplo de DFMEA

Requisitos do produto	Modo de falha potencial	Efeito(s) potencial(is) da falha(s)	Causa(s) e mecanismo(s) potencial(is) da(s) falha(s)	Controles atuais do processo				
				prevenção	detecção			
Flushness do farol para o capô 2.0±2.0mm (NOM±TOL) (farol overflush)	Não atingir o requisito	Farol demasiadamente <i>underflush</i> (menor do que o limite de inferior permissível, ou seja, menor do que 0.0mm): <i>seethrough</i> - cliente poderá visualizar componentes internos do compartimento do motor (indesejável); Farol demasiadamente overflush (maior do que o limite superior permissível, ou seja, maior do que 4.0mm): motorista poderá enxegar uma aresta do farol enquanto dirige (esteticamente indesejável).	Tolerância de perfil da lente do farol fora da especificação (±1.2mm)	Solicitar relatório dimensional do fornecedor do farol, com capacidade maior que 1.33 (cp>1.33)				
			Tolerância de perfil da superfície do capô fora de especificação (±0.7mm)	Verificar dimensional através de dispositivo de medição passa/não-passa, dentro de uma amostragem X				
			Variação da superfície de apoio do farol no suporte do radiador fora de especificação (±2.0mm)	Característica significativa a ser inserida no CEP (Controle Estatístico de Processo)				
			Variação da superfície de apoio do farol no pára-lama fora de especificação (±1.5mm)	Característica significativa a ser inserida no CEP (Controle Estatístico de Processo)				

Fonte: elaborado pelo autor

Neste caso, a coluna "Causa(s) e mecanismo(s) potencial(is) da(s) falha(s)" é representada exatamente pelas especificações das características significativas que precisam ser cumpridas, com o propósito de se atender ao requisito do produto. Conforme mencionado anteriormente, estas características são provenientes dos *outputs* das simulações de variação dimensional, chamadas de "principais contribuidores" nos *softwares* comerciais disponíveis destinados a esta finalidade. Este exemplo ilustra a importância do envolvimento do time de Engenharia Dimensional na elaboração do FMEA, onde os dados obtidos das simulações feitas pelo referido time, quando veiculados por procedimentos adequados de gestão dimensional garantem que essas informações fluam dos relatórios de análises dimensionais para o conhecimento de toda a engenharia.

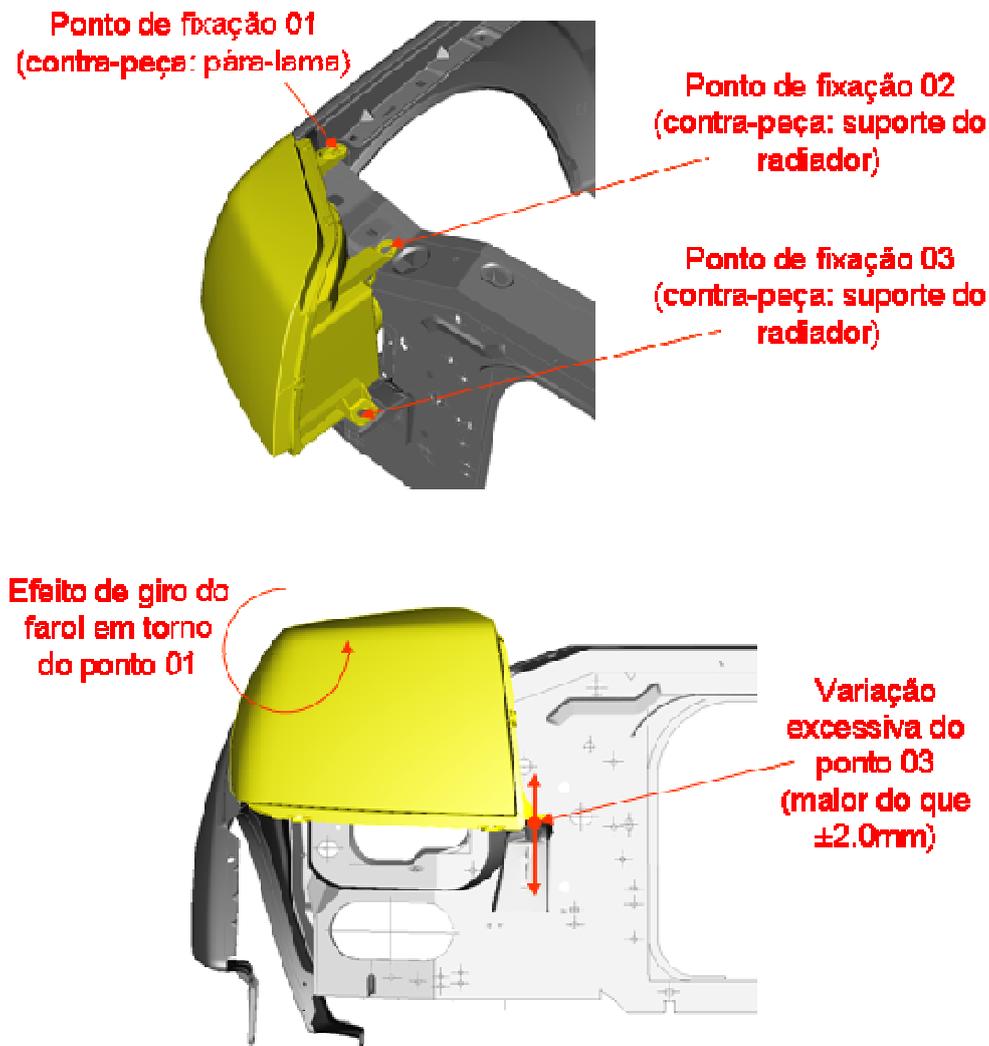
Figura 09 – Exemplos dos efeitos da variação dimensional sobre um requisito estético – nivelamento (*flushness*) – entre o capô e o farol



Fonte: elaborado pelo autor

Vale a pena ainda analisar uma dessas causas em mais detalhes, e como ela é transferida do DFMEA para um PFMEA (FMEA de processo) e, novamente, destacar a importância da engenharia dimensional neste contexto. O exemplo escolhido é o de "variação da superfície de apoio do farol no suporte do radiador fora de especificação ( $\pm 2.0\text{mm}$ )". Conforme pode-se ver na Figura 10, esta superfície é um dos pontos de acoplamento do farol à estrutura do carro. Quando este ponto varia mais do que 2.0mm, tanto para cima quanto para baixo, ele interfere negativamente na localização final do farol em relação a suas peças adjacentes – capô, pára-lama e pára-choque. Isso causa as falhas mencionadas no DFMEA da Tabela 01.

Figura 10 – Exemplo do efeito da variação dimensional fora de especificação para uma determinada característica significativa do produto



Fonte: elaborado pelo autor

Devido à importância do controle de variação desta superfície no processo de montagem, ela passa a ser inserida no PFMEA, a fim de se registrar quais são as potenciais causas que influenciam esta variação e chamar a atenção para o time de manufatura que vai ficar responsável por produzir o produto. Neste caso, por ocasião da elaboração do FMEA de processo sabe-se que a variação final desta superfície depende do acúmulo de tolerâncias tanto da fabricação da peça, quanto do processo de montagem da carroceria. O PFMEA do exemplo está mostrado na Tabela 02.

Tabela 02 – Exemplo de PFMEA

Requisitos do processo	Modo de falha potencial	Efeito(s) potencial(is) da falha(s)	Causa(s) e mecanismo(s) potencial(is) da(s) falha(s)	Controles atuais do processo					
				prevenção	deteção				
Variação permissível do suporte do radiador após montagem a carroceria ( $\pm 2.0\text{mm}$ ) - para cima e para baixo	Não atingir o requisito	Girar ou torcer o farol em relação a suas peças adjacentes	Desgaste do dispositivo de localização do suporte do radiador	manutenção					
			Variação dos pontos de acoplamento do suporte do radiador a carroceria fora de especificação	Características significativas a serem inseridas no CEP (Controle Estatístico de Processo)					

Fonte: elaborado pelo autor

Analisando-se as causas, encontra-se "variação dos pontos de acoplamento do suporte do radiador a carroceria fora de especificação". Novamente estes pontos e suas variações permissíveis são obtidos dos *outputs* das simulações de variação dimensional e, com isso, demonstra-se novamente a importância da engenharia dimensional e sua gestão.

Tanto o DFMEA quanto o PFMEA são os documentos formais de engenharia que irão alimentar o plano de controle de manufatura, o qual apresenta-se no tópico a seguir.

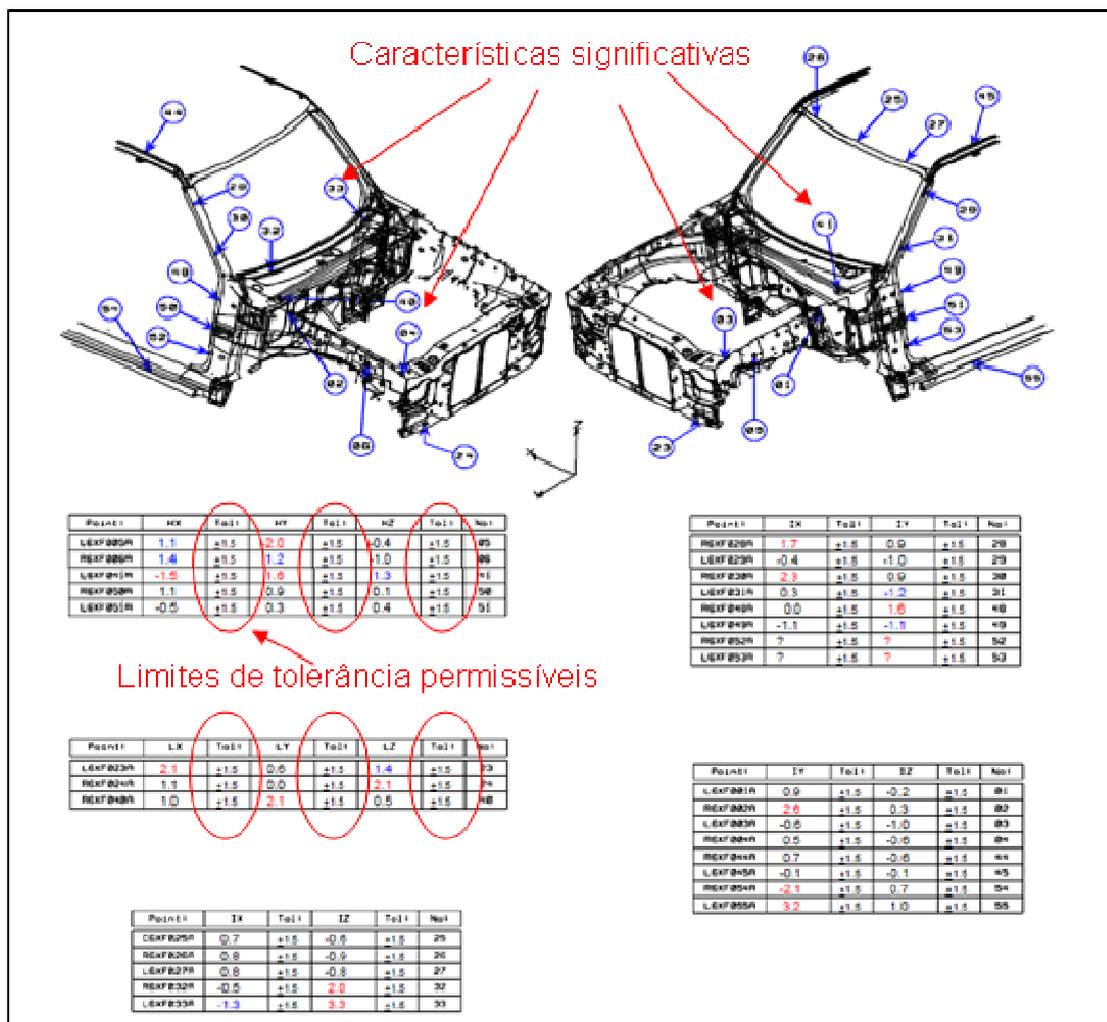
#### 2.2.2.3.5 Plano de Controle

Conforme Craig (1996), feitas as simulações de *stack-up* de tolerâncias, especificado o GD&T para desenhos de peças e sub-conjuntos, e elaborados os FMEAs, agora é necessário criar o Plano de Controle de manufatura, o qual é um documento que ilustra as características significativas do produto, relacionadas no FMEA, que devem ser medidas ao longo do processo de montagem, a fim de se monitorar as características

dimensionais do produto e tomar ações corretivas, caso verifiquem-se pontos fora da variação permitida.

Diferentemente do FMEA que é uma planilha que além de apresentar as características significativas, também traz uma série de outras informações, o Plano de Controle é uma ilustração, mais amigável para o pessoal de produção e sala de medidas, que mostra somente essas características e seus limites de variação, provenientes das simulações de análise dimensional, conforme pode-se ver na Figura 11.

Figura 11 – Exemplo de um Plano de Controle



Fonte: elaborado pelo autor

Este plano irá alimentar os programas de controle de medição, tais como aquelas realizadas por Máquinas de Medição por Coordenadas, conhecidas como CMM (*Coordinate-Measurement Machine*). O Plano de Controle é uma das principais fontes de

dados do "controle estatístico de processo", o qual será comentado mais adiante, dentro do tópico "Preparação da Produção".

Após o término dos ciclos de otimização de produto e processo, e documentação das intenções de engenharia através do GD&T, FMEAs e Plano de Controle, para encerrar a fase de Projeto Detalhado, é hora de testar e homologar o produto através da construção de protótipos funcionais, produzidos por equipamentos que não necessariamente são os de produção definitiva. O objetivo é assegurar que os protótipos atendam aos requisitos de sua aplicação específica, através de testes que podem ser feitos até a sua exaustão. O time de Engenharia Dimensional, neste momento, tem o objetivo de validar dimensionalmente esses protótipos para que possam ser submetidos aos testes de engenharia, a fim de comprovar o cumprimento dos requisitos do produto, sendo esta a terceira meta da Gestão Dimensional dentro da fase de Projeto Detalhado, que, conforme Craig (1996), é descrita como a validação dos requisitos dimensionais do produto com protótipos físicos através do plano de medição.

Staiff (1998) apresenta uma aplicação da gestão dimensional no desenvolvimento de portas automotivas, onde é ressaltada a importância dos modelos de simulação dimensional para desenvolver o Plano de Medição, bem como para validação dos dispositivos de medição, que devem seguir as especificações de GD&T dos projetos das peças. Também reforça a importância de assegurar a maior representatividade possível dos métodos de montagem "temporários" em relação aos que serão os definitivos ou de produção, para que o processo de montagem dos protótipos possa ser monitorado, e, no caso da identificação de não-conformidades, avaliar suas causas-raízes, verificando, dessa forma, se existe alguma falha de *design* ou de processo, direcionando-se as ações de melhoria necessárias. Quando atendidos os requisitos, o produto é declarado como validado por órgãos de homologação ou de certificação. Logicamente, caso o produto não atenda a algum requisito, um novo ciclo de otimização deve ocorrer. Como ainda nessa fase não temos a avaliação do processo produtivo, essa certificação é chamada de "intermediária". A certificação final virá na fase subsequente de Preparação da Produção.

Após o término dessa fase, as informações são congeladas e qualquer modificação somente pode ser feita através de um processo de mudança de engenharia ou *Engineering Change Management* (ECM).

#### 2.2.2.4 Preparação da Produção

Conforme Rozenfeld et al (2006), nessa fase é dada a certificação final do produto, com a garantia de que a empresa consiga produzir produtos dentro de processos produtivos estabelecidos com maquinário definitivo, no volume definido na Declaração de Escopo do Projeto e que atendam aos requisitos dos clientes durante o seu ciclo de vida. Essa fase engloba a produção de um lote piloto do produto, homologação do processo, certificação do produto e desenvolvimento dos processos de produção e de manutenção. Enquanto na fase de Projeto Detalhado a homologação do produto era focalizada na funcionalidade e garantia de obtenção dos parâmetros críticos do projeto, com a construção dos protótipos sem equipamentos de produção definitivo, na fase de Preparação da Produção usam-se os mesmos critérios de aprovação, no entanto aplicados a produtos concebidos pelos meios produtivos definitivos. Sendo assim, todo o procedimento de validação dimensional dos protótipos feito no final da fase de Projeto Detalhado é repetido nesta fase.

Craig (1996) afirma que o objetivo do time de Gerenciamento Dimensional é validar a capacidade dos processos de manufatura conforme intenções de projeto, tratando-se da sexta meta da gestão dimensional dentro do PDP. Seguindo esse intuito, a primeira atividade nessa fase é a verificação e validação dos dispositivos de montagem conforme a intenções de projeto (*design intent*). Dessa forma, o primeiro passo é trabalhar junto ao time de manufatura para assegurar que os dispositivos e métodos de montagem, inspeção e programas de medição reflitam a intenção de projeto, ou seja, representam os conceitos analisados nos modelos de simulação dimensional. É conhecido que tipicamente muitas mudanças ocorrem entre a liberação do projeto e a montagem do produto. Como exemplo dessas mudanças, tem-se que esquemas de localização que pareciam apropriados nos modelos 3D podem não funcionar no chão de fábrica; ou ainda dispositivos de montagem e inspeção podem sofrer modificações por outros motivos, além dos dimensionais. O importante é que essas modificações devam ser reavaliadas e aprovadas pelo time de Gerenciamento Dimensional para assegurar que os requisitos do produto ainda possam ser atingidos, assegurando a integridade do mesmo. É importante frisar que com o Gerenciamento Dimensional bem implementado esse tipo de problema tende a diminuir, e

que o modelo de simulação dimensional esteja sempre atualizado conforme produto e processo.

Feita essa validação, o próximo passo é a implementação do Plano de Controle através do Controle Estatístico de Processo (CEP), onde estudos de capacidade (do termo em inglês *capability*) são conduzidos para assegurar que o processo atinja os níveis exigidos e que o produto atenda os requisitos dos clientes, conforme é apresentado no tópico a seguir. Novamente vale ressaltar que estas atividades são mais características desta fase, Preparação da Produção, no entanto, elas podem e devem ser iniciadas já no final do Projeto Detalhado, durante a validação de protótipos.

#### 2.2.2.4.1 Controle Estatístico de Processo

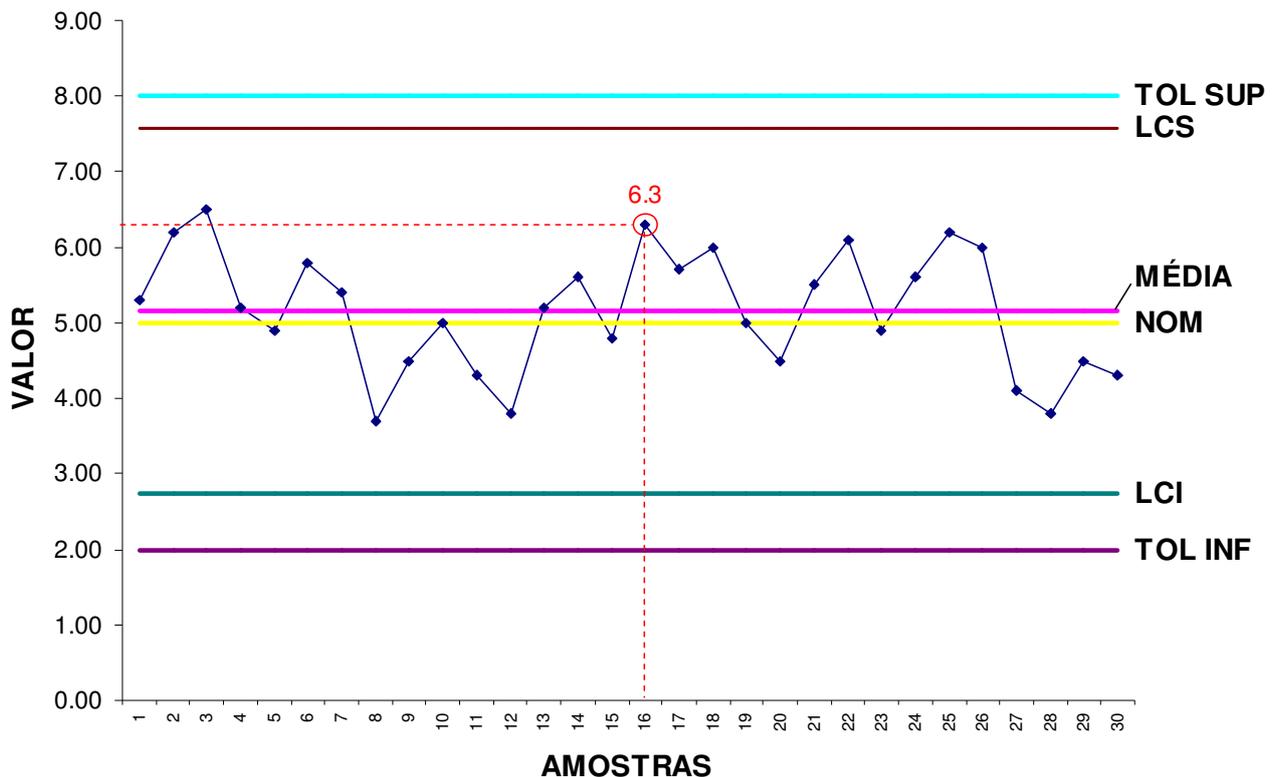
Conforme definição do manual de *Statistical Process Control of Automotive Industry Action Group* (AIAG), Controle Estatístico de Processo (CEP) é o uso de técnicas estatísticas para analisar as saídas (*outputs*) de um processo e então tomar ações apropriadas para alcançar e manter um estado de controle estatístico, assim como promover a melhoria contínua de capacidade do processo. Essa é uma técnica que vai ao encontro da estratégia de "prevenção" das organizações manufatureiras para evitar que produtos defeituosos cheguem aos consumidores. Essa estratégia é conseguida pelo monitoramento e ajuste do processo, quando necessário, promovendo a melhoria contínua do mesmo.

Conforme mencionado no tópico anterior, a base do CEP é o Plano de Controle de manufatura, estabelecido através dos FMEAs; os *inputs* de consumidores; e as lições aprendidas da produção. O Plano de Controle apresenta, de forma ilustrativa, todas as características significativas do produto que precisam ser inspecionadas ao longo do processo de montagem, para, através do CEP, monitorar-se as características dimensionais do produto e agir preventivamente no caso de alguma delas demonstrar uma tendência de sair ou realmente sair de sua especificação dimensional estabelecida. O CEP combina o Plano de Controle com técnicas estatísticas para fazer este monitoramento em uma determinada amostragem, evitando que 100% da produção tenha que ser inspecionada, o que inviabilizaria qualquer negócio.

Dois conceitos estatísticos largamente utilizados no CEP, são (a) os gráficos de controle, que acompanham ao longo do tempo a estabilidade do processo, e, através de técnicas de observação, possibilitam a previsão da performance futura, fazendo com que ações de melhoria sejam tomadas antes mesmo da não-conformidade ocorrer; e (b) os índices de capacidade do processo, onde os mais utilizados são  $C_p$  e  $C_{pk}$ , que tem a função de medir o potencial do processo em atingir as metas ou requisitos do produto.

Cada característica significativa do Plano de Controle tem o seu próprio gráfico de controle que, além de plotar o valor dos pontos medidos, tipicamente reúne dados como: (a) especificação da dimensão nominal da ponto (característica) a ser medido – NOM; (b) especificação da tolerância permissível do ponto – TOL SUP / TOL INF; (c) média dos pontos medidos na amostra – MÉDIA; (d) limites de controle superior e inferior – LCS/LCI. Esses dados são apresentados no gráfico de controle típico da Figura 12.

Figura 12 – Gráfico de controle típico



Fonte: elaborado pelo autor

É necessário que os limites de controle (LCS/LCI) estejam dentro das tolerâncias (TOL SUP/TOL INF), o que indica que a dispersão da distribuição dos valores medidos está dentro das tolerâncias permissíveis, o que é representado pelo índice  $C_p$ . Da mesma forma, é necessário que a média (MÉDIA) dos valores medidos se aproxime ao máximo do valor nominal (NOM), indicando que o processo está centralizado, o que é representado pelo índice  $C_{pk}$ .

Existem muitas outras técnicas e conceitos aplicados ao CEP e dentre elas, uma que vale a pena mencionar por ter influência direta na validação de capacidade de processo é a "Análise de Sistemas de Medição", conhecida na indústria como MSA (*Measurement System Analysis*). Esta atividade também tem total envolvimento com o time de gestão dimensional, conforme vê-se a seguir.

#### 2.2.2.4.2 Análise de Sistemas de Medição

A proposta de executar um MSA tem o objetivo de assegurar que a informação medida que se coleta representa verdadeiramente o que está ocorrendo em um processo. Em outras palavras, tem-se que saber se as medições são confiáveis antes de avaliar ou melhorar qualquer processo. Não é possível avaliar ou melhorar o que não se pode medir.

Usualmente um MSA é conduzido para obter informações da quantidade e tipo de variação de medição associada aos sistemas de medição, onde os principais tipos são: materiais, métodos, pessoas, ambiente, maquinário e medição. Sendo assim, em geral, qualquer valor medido observado tem algum erro e pode ser representado por:

Valor Medido Observado = Valor Medido Verdadeiro + Erro de Medição

MSA é uma ferramenta muito importante que ajuda na avaliação de ambos o produto e o sistema de medição, respondendo as seguintes questões:

- Qual a proporção da variação total observada nos dados é devida ao produto?
- Qual a proporção dessa variação é devida ao sistema de medição?

MSA responde essas questões separando a variação total observada em duas partes: variação de peça a peça e variação do sistema de medição, que pode ser

futuramente desdobrada em repetibilidade e reprodutibilidade da variação do sistema, onde, repetibilidade é uma medida de quanto as leituras do medidor variam quando o mesmo avaliador mede a mesma peça várias vezes nas mesmas condições; e, reprodutibilidade é a variação na média de medições repetidas feitas por diferentes avaliadores da mesma peça sob condições idênticas.

Esse "desdobramento" da variação total pode ser visualizada na Figura 13.

Figura 13 – Desdobramento da variação total observada

$$\sigma^2_{\text{Total}} = \sigma^2_{\text{Product}} + \sigma^2_{\text{Measurement}}$$

$$\sigma^2_{\text{Measurement}} = \underbrace{\sigma^2_{\text{Equipment}}}_{\text{EV (Equipment Variation)}} + \underbrace{\sigma^2_{\text{Appraiser}}}_{\text{AV (Equipment Variation)}}$$

↓

**GR&R = Repetibilidade + Reprodutibilidade**

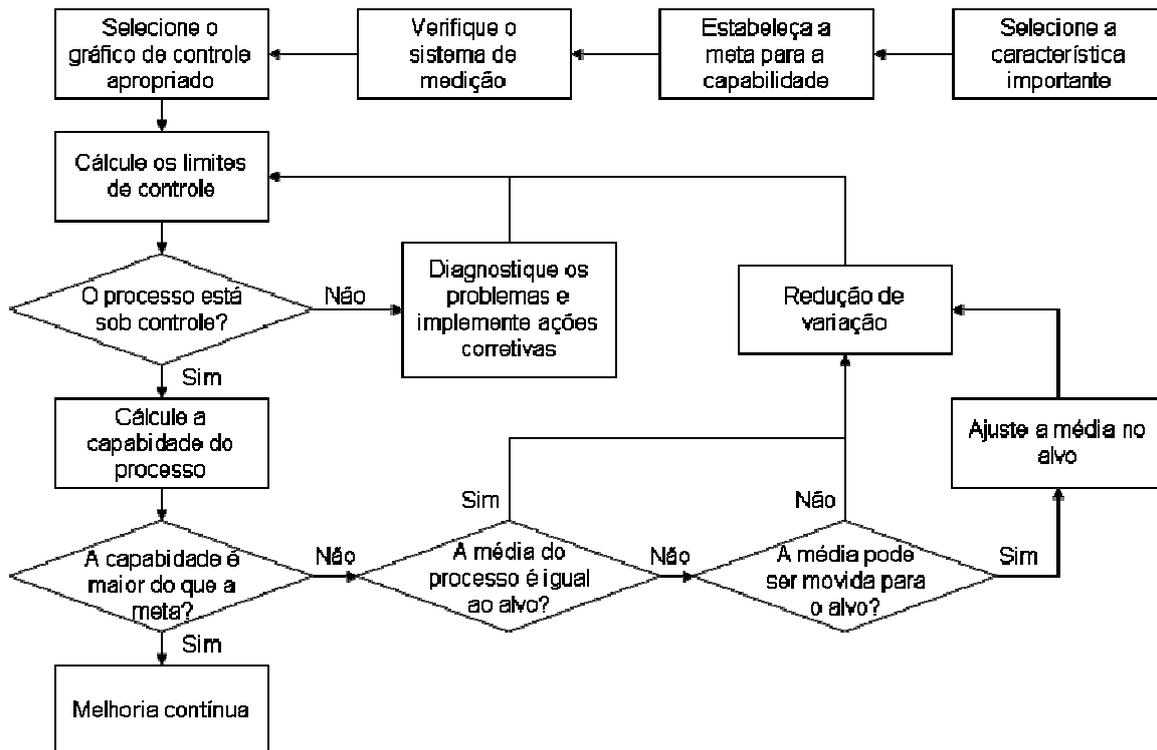
Fonte: Yang (2008)

Existem normas e métodos para se conduzir uma análise de sistemas de medição, as quais não necessariamente são relevantes para o desenvolvimento dessa dissertação. É importante frisar que não é possível existir um CEP robusto sem o MSA, o que pode inviabilizar a validação de capacidade de processo e então, sua homologação.

Durante a validação de capacidade do processo, no caso da impossibilidade de atender uma determinada especificação, o time de gestão dimensional deve reavaliar o impacto nos requisitos do produto e, junto ao restante do time de desenvolvimento, tomar uma das duas decisões: (a) aumentar os limites de especificação, tornando o processo capaz sem qualquer ação de melhoria, ou, (b) realizar ações de melhoria de *design* e/ou processo para que a especificação seja atendida e o requisito do produto que ela influencia seja cumprido.

Yang (2008) apresenta um fluxograma para validação de capacidade de processo, focalizando apenas no processo como oportunidade de melhoria, conforme pode-se ver na Figura 14.

Figura 14 – Fluxograma de validação de capacidade de processo



Fonte: Yang (2008)

Este fluxo ilustra a interação entre as atividades citadas neste tópico, onde pode-se enfatizar a influência da gestão dimensional. Por exemplo: (a) primeiro passo, "selecione a característica importante", essa característica deve ser exatamente um dos principais contribuidores para um parâmetro a ser medido, que pode ser um requisito do cliente ou de manufatura. Ou seja, são as características significativas mencionadas, as quais são obtidas como *output* do modelo de simulação dimensional; (b) no passo seguinte, "estabeleça a meta para a capacidade", representa a variação esperada conforme intenção de projeto, que também é um *output* dos modelos de simulação dimensional, onde a exigência de capacidade varia conforme exigência da companhia para o nível de qualidade que deseja-se entregar; (c) "verifique o sistema de medição", primeiramente certificar se os dispositivos ou métodos de medição medem as peças e subconjuntos a partir dos seus referenciais funcionais, conforme especificações de GD&T nos desenhos. Em seguida, executar o MSA; (d) os passos subsequentes são exatamente a aplicação das ferramentas de CEP em conjunto com os modelos de simulação dimensional, para verificação das dimensões esperadas x reais, identificação de causas-raízes e definição

de ações para corrigir as não-conformidades encontradas e melhoria contínua do processo, a fim de validá-lo.

A homologação do processo se dá com a validação de capacidade no cumprimento dos parâmetros significativos do produto, dentro das especificações de tolerância pré-estabelecidas no Projeto Detalhado. Essa fase finaliza-se com a definição do processo de produção, de manutenção e treinamento de pessoal para execução das tarefas de fabricação e montagem.

#### *2.2.2.5 Lançamento do Produto*

Diferentemente da fase anterior que trata da cadeia de suprimentos do ponto de vista interno, a fase de Lançamento do Produto abrange as atividades do ponto de vista externo, ou seja, da colocação do produto no mercado, serviços de atendimento a consumidor, campanhas de marketing, distribuição e assistência técnica. Pouca ou nenhuma interface com o Gerenciamento Dimensional é observada nessa fase.

#### *2.2.3 A macro-fase de Pós-Desenvolvimento do Produto*

A macro-fase de Pós-Desenvolvimento é conhecida dentro das empresas como o momento em que a "engenharia passa o bastão para a produção". No entanto essa é uma visão completamente equivocada, que faz com que a companhia desperdice dinheiro, conhecimento e oportunidades para melhorar produtos futuros e evitar que mesmos erros ocorram novamente. É de fundamental importância garantir que parte do pessoal responsável pelo desenvolvimento do produto continue dando suporte ao Pós-Desenvolvimento, assegurando que o histórico de projeto não seja perdido e que o tempo de reação a qualquer problema identificado a posteriori seja o mais rápido possível, evitando perda de vendas e clientes. (Rozenfeld et al, 2006)

Sendo assim, essa macro-fase compreende atividades como:

- Sistematização e documentação de conhecimentos adquiridos para serem reutilizados em novos projetos de desenvolvimento;
- Retirada sistemática do produto de mercado, assegurando o cumprimento de requisitos de gestão do meio ambiente;
- Reutilização, reciclagem e/ou descarte do produto ou parte dele;
- Avaliação do ciclo de vida, averiguando-se o grau de acerto do planejamento econômico realizado, a fim de se criar um padrão de previsões para a empresa.

Essa macro-fase compreende duas fases distintas: Acompanhar Produto/Processo e Descontinuar Produto.

#### 2.2.3.1 Acompanhar Produto/Processo

Conforme Rozenfeld et al (2006) o principal objetivo dessa fase é garantir o acompanhamento do desempenho do produto na produção e no mercado, identificando necessidades ou oportunidades de melhoria e garantindo que a retirada cause o menor impacto possível aos consumidores, empresa e meio ambiente. São realizadas auditorias pós-projeto, avaliações da satisfação do cliente, monitoramento do desempenho do produto e registro de lições aprendidas, que futuramente serão de extrema importância também para o desenvolvimento de novos programas, a fim de desenvolver projetos cada vez mais robustos, que realmente atendam às necessidades dos clientes.

Avaliações de satisfação do cliente também geram informações preciosas para serem confrontadas com o monitoramento do desempenho do produto, para então decidir-se quais modificações serão necessárias no produto já em produção. Quaisquer modificações dessas, sejam para reparar erros ou de oportunidades de melhoria, devem ser amparada por processos de Gerenciamento de Mudança de Engenharia, conhecido na indústria como *Engineering Change Management* (ECM).

O procedimento de ECM deve ser seguido a partir da fase de Preparação da Produção até o fim do ciclo de vida do produto. É aplicado a qualquer alteração de *design* do produto, seja de componentes ou subconjuntos, sempre que afete sua forma, interface

e função. É necessário quando (a) não-conformidades no projeto são identificadas; (b) ações de melhoria nos processos de manufatura são descobertos; (c) quando há necessidade de implementar ações de melhoria para atender novas necessidades dos consumidores, e (d) para manter o produto competitivo no mercado.

Esse procedimento estabelece como as modificações de engenharia são encaminhadas, autorizadas, solucionadas, avaliadas, aprovadas e liberadas para serem introduzidas na produção (seja de protótipos ou de produtos em série).

Durante a fase de Acompanhamento do Produto/Processo, deve ser feito, também, o monitoramento do desempenho técnico do produto na produção e do processo, através do CEP, da mesma forma como foi feito na fase de Preparação da Produção. Isso demonstra a importância do time de gestão dimensional também no pós desenvolvimento do produto.

Sendo assim, conforme afirmado por Craig (1996), com informações da capacidade do processo em mãos, principalmente aquelas onde os processos de fabricação ou de montagem não atingem as intenções de projeto, o time de Gerenciamento Dimensional pode utilizar esses dados para retroalimentar o modelo de simulação, a fim de determinar se as condições "fora da especificação" afetam adversamente a função global do produto. Também pode-se avaliar diversas modificações de *design* e/ou processo para ajudar a reduzir o efeito que cada uma dessas condições "fora de especificação" tem na função do produto. Isso tudo é possível uma vez que o modelo de simulação compreende os efeitos interativos da geometria, métodos de montagem e esquemas de medição, tornando-se uma poderosa ferramenta para ajudar a assegurar que os esforços de engenharia serão colocados em áreas diretamente relacionadas com a melhora da função do produto global.

Por fim as lições aprendidas devem ser registradas, categorizadas e disponibilizadas a qualquer momento para os times de Desenvolvimento de Produto, visando a captura dos conhecimentos úteis para a realização de atividades durante novos projetos. Essa atividade é o que Craig (1996) chama de retroalimentação do desenvolvimento de produtos com informações da produção, a qual é definida como a sétima e última meta da gestão dimensional dentro do PDP.

O encerramento dessa fase não é marcado por uma atividade final, mas, sim, pela definição do fim da produção dos componentes de reposição, ou seja, ela coincide com o fim de vida do produto. Não é necessário mencionar a fase de "Descontinuar o Produto" pois nenhuma interação relevante existe com o Gerenciamento Dimensional.

Com isso, finaliza-se este Capítulo, com a revisão das principais atividades relacionadas à gestão dimensional dentro do processo de desenvolvimento de produtos, definindo-se, as sete metas da gestão dimensional ao longo deste processo, as quais servirão de base para o desenvolvimento de um modelo de melhores práticas para a indústria automotiva. A Tabela 03 ilustra estas metas alinhadas as fases do PDP.

Tabela 03 – Metas das Gestão Dimensional em cada fase do PDP

<b>Fases do PDP</b>	<b>Metas da Gestão Dimensional</b>
Projeto Informacional	1 Definir claramente os requisitos dimensionais (estéticos e funcionais) do produto
Projeto Conceitual	2 Analisar a viabilidade técnica dimensional dos conceitos de <i>design</i> do produto
Projeto Detalhado	3 Constatar que o projeto, manufatura e processo de montagem otimizados atendem os requisitos dimensionais do produto
	4 Assegurar que a documentação dimensional do produto esteja correta
	5 Validar os requisitos dimensionais do produto com protótipos através do plano de medição
Preparação da Produção	6 Validar a capacidade do processo de manufatura conforme intenções de projeto
Acompanhar Produto/Processo	7 Retroalimentar o desenvolvimento de produtos com informações da produção

Fonte: elaborado pelo autor

### **3. METODOLOGIA**

Conforme proposto no capítulo 1, o objetivo geral deste estudo é estabelecer um conjunto de práticas de Gestão Dimensional para a Alfa Motors – Centro de Desenvolvimento de Produtos do Brasil – para desenvolvimento de novos veículos, a fim de reduzir a ocorrência de não-conformidades de origem dimensional nas fases de construção de protótipos para validação de produto e processo, como também durante a produção em série. Foram estabelecidos os objetivos específicos que conduzirão a esse objetivo geral, os quais são aqui reiterados:

- a. Estabelecer um modelo de análise para a identificação dos modos de falha no processo atual de gestão dimensional da Alfa Motors;
- b. Fazer o levantamento de amostras de não-conformidades dimensionais identificadas tardiamente no desenvolvimento de produtos da Alfa Motors, e entender os modos de falha das mesmas no seu processo atual de gestão dimensional. Analisar também o impacto dessas não-conformidades para esta companhia; e
- c. Propor práticas de gestão dimensional para que esses tipos de não-conformidades sejam identificadas e corrigidas antecipadamente no Processo de Desenvolvimento de Produtos da companhia.

Para cumprir os objetivos específicos acima estabelecidos, foram adotados os procedimentos metodológicos a seguir descritos.

#### **3.1 Modelo de Análise**

A fim de identificar-se os modos de falha do processo atual de gestão dimensional da companhia, o primeiro passo foi estabelecer um Modelo de Análise que será utilizado para coletar as informações para a Análise de Resultados (Capítulo 4). Para tanto, este

modelo contém as seguintes informações: (a) as metas da gestão dimensional em cada fase do PDP, conforme levantado na Revisão da Literatura – Capítulo 2 (destacado na Tabela 03); (b) os modos de falha para cada meta, os quais serão obtidos a partir da análise de não-conformidades, conforme será explicado nos Tópicos 3.2 e 3.3 (Amostragem e Instrumento); (c) os efeitos e causas das falhas, a fim de se aferir o impacto para a companhia; (d) os controles atuais, ou seja, atividades atualmente executadas na companhia para eliminar ou minimizar os modos de falha; e, por fim, (e) as ações recomendadas, ou seja, as práticas sugeridas para eliminar cada tipo de modo de falha, conforme proposto pelos autores revistos na Literatura, as quais compreendem o objetivo do presente estudo. A Tabela 04 ilustra o Modelo de Análise.

Tabela 04 – Modelo de Análise do processo atual de gestão dimensional da Alfa Motors

Descrição do Processo	Meta do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha Potencial	Controle Atual	Ação Recomendada
Gestão Dimensional do Produto	Meta 01					
	Meta 02					
	Meta 03					
	(a) 04	(b)	(c)	(d)	(e)	
	Meta 05					
	Meta 06					
	Meta 07					

Fonte: elaborado pelo autor

O seguinte delineamento será seguido, para a realização do trabalho empírico:

Passo 1 – elaboração do Modelo de Análise;

Passo 2 – identificação dos modos de falha, suas causas e efeitos, a partir da análise de amostras de não-conformidades, conforme será explicado nos Tópicos 3.2 e 3.3;

Passo 3 – preenchimento do Modelo de Análise com os modos de falha, suas causas e efeitos, para cada meta do processo de gestão dimensional do produto;

Passo 4 – formulação de propostas de aprimoramento de práticas a partir da análise do cenário atual de gestão dimensional da companhia;

Passo 5 – preenchimento do Modelo de Análise com as propostas de aprimoramento de práticas identificadas;

Passo 6 – construção do modelo de gestão dimensional no PDP, como conclusão do trabalho.

A seguir, apresenta-se o procedimento de identificação dos modos de falha, a partir do levantamento das não-conformidades.

### **3.2 Amostragem**

Foi feito um levantamento de não-conformidades identificadas tardiamente no PDP da Companhia, durante as fases de construção de protótipos para validação de produto e processo, como também durante a produção.

A primeira amostra (amostra 01) refere-se a não-conformidades dimensionais de veículos que foram recentemente desenvolvidos no Centro de Desenvolvimento de Produtos da Alfa Motors no Brasil. Por se tratar de informações confidenciais da companhia, estes veículos não serão identificados. Foi selecionado apenas um tipo de veículo, dentro do portfólio de projetos existentes na Alfa Motors entre 2005 e 2010, o qual passou pelas fases de validação do protótipo do produto e processo durante este período. Este veículo de análise foi chamado de "Veículo X", garantindo assim sua confidencialidade. A composição da amostra e suas características estão descritas a seguir:

- Tamanho: 64 não-conformidades relacionadas a variação dimensional. Estas foram retiradas de um universo de 1000 não-conformidades de vários tipos, as quais foram identificadas na construção de 200 protótipos para validação do produto e processo de montagem do Veículo X;
- As denominações destas não-conformidades foram intencionalmente modificadas, a fim de proteger a integridade da companhia, no entanto, sem que afetasse a identificação do modo de falha relacionado.

O segunda amostra (amostra 02) refere-se a veículos em produção e, para garantir a atualidade dos dados coletados, o período de coleta abrangeu os nove primeiros meses de 2011 – de janeiro a setembro. Os últimos 3 meses não foram considerados, pois os dados ainda não haviam sido consolidados. Do mesmo modo, neste caso, foi selecionado apenas um tipo de veículo dentro do portfólio de produtos fabricados e vendidos pela Alfa Motors na América do Sul naquele ano. Com o intuito de, igualmente, garantir sua confidencialidade, este será chamado de "Veículo Y". A composição da amostra e suas características estão descritas a seguir:

- Tamanho: 212 não-conformidades relacionadas a um determinado código de reclamação do consumidor, denominado "mau encaixe dos painéis da carroceria", o qual, sabe-se, tem associação direta com a questão de variação dimensional do produto. O desdobramento para se chegar a este código de reclamação específico, dentre as centenas existentes, será devidamente explicado no Tópico 3.3 (Instrumento);
- Essas não-conformidades tiveram solicitações de reparo entre os meses de Janeiro a Setembro de 2011, em uma concessionária autorizada da marca, dentro do prazo de garantia.

### **3.3 Instrumento**

As amostras de não-conformidades foram coletadas dos indicadores de qualidade que a Alfa Motors utiliza no dia-a-dia de suas atividades para garantir a qualidade de seus produtos, tanto durante o desenvolvimento, quanto durante a produção dos mesmos.

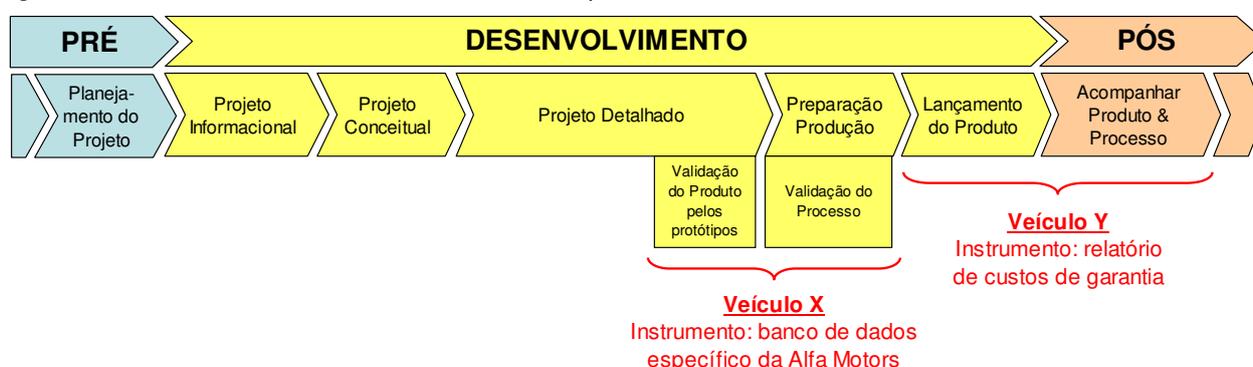
No caso dos protótipos, a Alfa Motors utiliza um banco de dados específico para registrar e acompanhar a resolução de não-conformidades durante as fases de construção dos mesmos, tanto para validação do produto quanto do processo. Sendo assim, este banco de dados foi o instrumento utilizado para levantamento e análise das não-conformidades do "Veículo X".

Para veículos em produção, a Alfa Motors dispõe de uma gama maior de fontes de dados de não-conformidades, tais como o registro DPMO (*Defects Per Million Opportunities*), o registro PPM (*Parts Per Million Opportunities*), os relatórios de pesquisas

de satisfação do consumidor e os relatórios de custos de garantia. No caso do "Veículo Y", o instrumento utilizado foi o relatório de custos de garantia. Este custos são um indicador externo e representam não-conformidades não identificadas quer no projeto, quer na produção e que acabaram chegando ao consumidor. Este, por sua vez, demonstra sua insatisfação levando o seu veículo a uma concessionária autorizada da marca e solicitando o reparo, cujo custo é arcado pela Alfa Motors, quando a não-conformidade ocorre dentro do período de garantia.

A Figura 15 ilustra as fases do PDP em que foram colhidos dados de não-conformidades dimensionais para os veículos X e Y.

Figura 15 – Levantamento de não-conformidades para os veículos X e Y



Fonte: elaborado pelo autor

### 3.3.1 Procedimento de coleta de dados de não-conformidades dimensionais para o Veículo X

Para a amostra do veículo X foi gerada uma planilha a partir do banco de dados, onde foram descritas as 64 não-conformidades relacionadas a variação dimensional, informando-se tipo e causa de cada uma delas (Tabela 05).

Tabela 05 – Modelo da planilha de não-conformidades para o Veículo X

#	Descrição das não-conformidades	Tipo	Causas
1			
2			
n			

Fonte: elaborado pelo autor

A partir da planilha da Tabela 05, foram selecionadas algumas não-conformidades para serem explicadas em maiores detalhes, a fim de se determinar os respectivos modos de falha. Em seguida, agruparam-se as não-conformidades por modo de falha. A Tabela 06 apresenta o modelo da planilha onde as não-conformidades apresentadas na Tabela 05 foram associadas aos seus respectivos modos de falha.

Tabela 06 – Modelo da planilha de não-conformidades para o Veículo X com os respectivos modo de falha

#	Descrição das não-conformidades	Tipos	Causas	Modo de falha
1				MF(1)
2				
3				MF(2)
...				
64				MF(n)

Fonte: elaborado pelo autor

### 3.3.2 Procedimento de coleta de dados de não-conformidades dimensionais para o Veículo Y

Dos bancos de dados das informações sobre custos de garantia, foram selecionadas as não-conformidades identificadas com o código de reclamação do consumidor CRC B02, referentes, no caso, ao "mau encaixe dos painéis de carroceria" causados por variação dimensional. Esses painéis correspondem a portas, capô, tampa do porta-malas e pára-lamas.

Com as não-conformidades dimensionais identificadas, buscou-se determinar os modos de falha de gestão dimensional que permitiram suas ocorrências, e, então, a categorização das não-conformidades por tipo de modos de falha, conforme feito para o Veículo X.

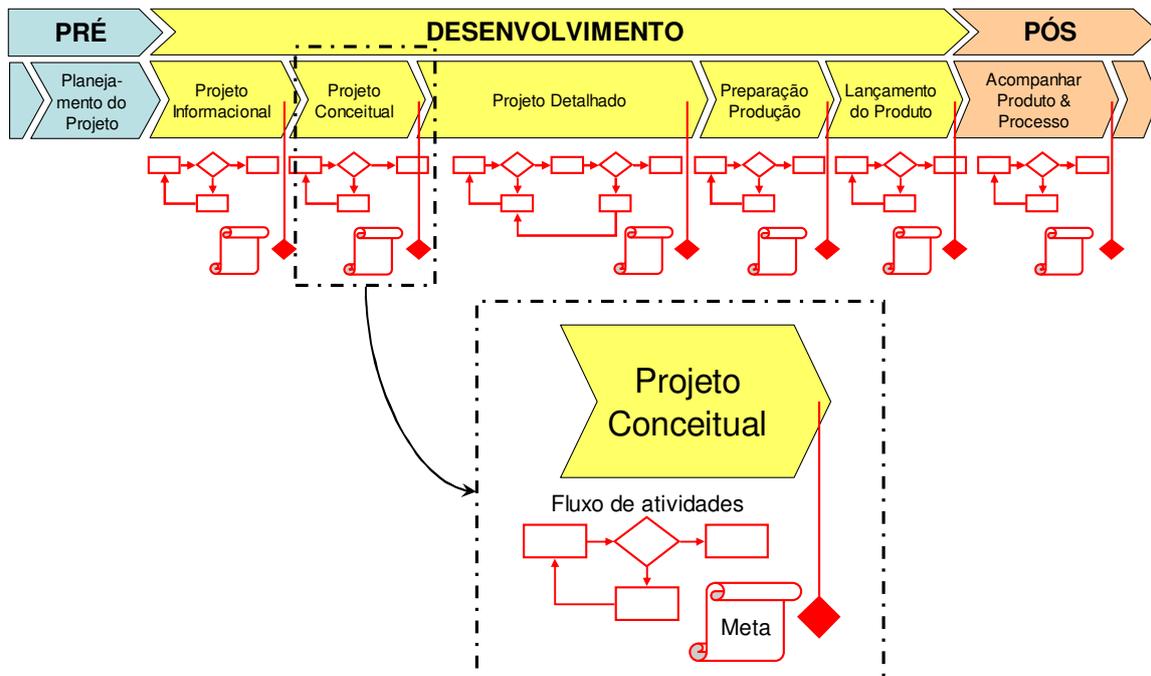
A identificação dos modos de falha para os veículos X e Y compreendeu o segundo passo, sendo o terceiro, o preenchimento do Modelo de Análise (apresentado na Tabela 03) com essas informações.

### 3.4 Proposta

O quarto passo refere-se à proposta de aprimoramento de práticas de gestão dimensional, a partir do cenário atual da companhia e com base na revisão da literatura, onde o propósito é eliminar os modos de falha identificados. O termo "eliminar" pode ser entendido como identificar e solucionar não-conformidades antecipadamente no PDP da Alfa Motors, idealmente antes da liberação do projeto para fabricação das peças protótipos, construção dos ferramentais e montagem dos protótipos, e, a partir deste ponto, fazer um controle dimensional robusto do produto em fase de teste até a sua produção. Nesta etapa do trabalho, as colunas do Modelo de Análise identificadas como "controle atual" e "ação recomendada" serão preenchidas, tratando-se do quinto passo.

O sexto e último passo consiste em organizar essas propostas de aprimoramento de práticas de gestão dimensional no PDP, a fim de propor um modelo de gestão dimensional genérico, o qual ilustre todas as informações supra-citadas num esquema de rápida consulta e visualização para todos as pessoas envolvidas neste processo. Este esquema conta, ainda, com definições de papéis e responsabilidades, métricas e objetivos, conforme pode-se ver na Figura 16.

Figura 16 – Esquema do Modelo de Gestão Dimensional para Alfa Motors



Fonte: elaborado pelo autor

## **4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Seguindo o delineamento de pesquisa apresentado no capítulo 3, a proposta deste capítulo é o de mostrar os dados coletados, analisá-los e sugerir um modelo de práticas para o processo de gestão dimensional da Alfa Motors.

### **4.1 Passo 1 – Estabelecer o Modelo de Análise**

Neste primeiro passo, com base no Modelo de Análise definido no Capítulo 3, Metodologia, e com os objetivos/metas macro do que seria um processo de gestão dimensional, os quais foram obtidos no Capítulo 2, Revisão Bibliográfica, tem-se o Modelo de Análise inicial apresentado na Tabela 07.



Com as metas do processo de gestão dimensional inseridas neste modelo, os próximos passos destinam-se a complementação das demais informações a partir da observação e análise das amostras, conforme estabelecido na Metodologia.

## 4.2 Passo 2 – Identificação dos modos de falha

Este passo destina-se à identificação dos modos de falha do processo atual de gestão dimensional da Alfa Motors, os quais serão inseridos na coluna "Tipo de falha potencial" do Modelo de Análise (Tabela 07). Estes modos de falha foram identificados para as duas amostras (1) Veículo X – protótipo e (2) Veículo Y – produção, conforme apresenta-se a seguir.

### 4.2.1 Coleta de dados de não-conformidades dimensionais para o Veículo X

No Apêndice A, apresenta-se uma tabela com estas não-conformidades já classificadas por modos de falha. Para cada modo de falha, será demonstrado como foi feita esta classificação através da explicação em detalhes de ao menos uma não-conformidade, apresentando-se como elas foram identificadas, seus efeitos e causas, além de posicionar cada modo de falha dentro das fases do PDP, para então serem retroalimentados no Modelo de Análise. As não-conformidades selecionadas para detalhamento estão destacadas em "cinza" na tabela do Apêndice A.

- *Modo de Falha 01 – Não definir requisitos dimensionais para determinados atributos do veículo*

Este é um tipo de modo de falha que permite a ocorrência de diversas não-conformidades nos protótipos, as quais poderiam ter sido facilmente identificadas e corrigidas na fase de Projeto Detalhado, caso existissem requisitos a serem verificados e cumpridos. O fato de não existirem, faz com que não sejam requeridas análises dimensionais para avaliar um determinado atributo, o que impede a verificação do projeto. Trata-se de um modo de falha que, se eliminado, traz grande economia de custo para a

companhia, pois o tempo e dinheiro gastos para analisar o cumprimento de requisitos durante o Projeto Detalhado é muito menor do que o gasto para reparar uma não-conformidade encontrada somente nos protótipos. Mais grave ainda é se essas não-conformidades só forem identificadas na produção ou pelos consumidores, pois pode envolver paradas de produção, ou gastos com garantia, além de prejudicar a imagem da companhia.

Pode-se exemplificar este caso com a Não-conformidade 03, "interferência da carcaça da buzina com o farol". Como intenção de projeto, a carcaça da buzina foi posicionada muito próximo à carcaça do farol, com uma folga muito pequena entre estas duas peças. Como não havia uma especificação de folga mínima para, por exemplo, montagem e desmontagem (reparo), nenhum estudo de simulação dimensional foi conduzido para verificar se essa folga absorveria a variação dimensional de montagem dessas peças. O fato foi que a variação, mesmo a inerente dos processos de manufatura, era maior do que essa folga e, como consequência, em alguns protótipos a montagem não foi realizada, pois as peças interferiam uma na outra.

Como a definição dos requisitos a serem cumpridos é uma das primeiras atividades do processo de desenvolvimento de produtos, este modo de falha decorre do não cumprimento da primeira meta da gestão dimensional, ou seja, definir claramente os requisitos dimensionais (estéticos e funcionais) do produto.

- *Modo de Falha 02 – Sub/Super dimensionar os requisitos dimensionais do veículo*

Requisitos super-dimensionados, ou seja, com tolerâncias permissíveis demasiadamente abertas, podem levar a condições estéticas ou funcionais inaceitáveis perante o consumidor, os quais requerem mudanças tardias de projeto para corrigí-los. Por outro lado, requisitos sub-dimensionados, ou seja, com tolerâncias permissíveis demasiadamente apertadas, resultam em esforços de engenharia desnecessários para cumprí-los, exigindo processos de fabricação e montagem mais refinados, o que normalmente eleva o custo de manufatura dos componentes, levando a um aumento do custo de produção do veículo. O desconhecimento dos produtos concorrentes e das

necessidades dos consumidores são os principais fatores que levam a este modo de falha.

Para exemplificar, toma-se como exemplo a não-conformidade 10, "folga excessiva entre o painel de instrumentos e a guarnição interna da coluna dianteira, em ambos os lados, causando má qualidade estética". Esta foi uma não-conformidade verificada pelo time de Qualidade responsável pela verificação/aprovação estética do veículo enquanto protótipo. A percepção desse time, que pretende representar a percepção do cliente, foi que a folga entre essas peças estaria causando uma má qualidade percebida para os clientes. Foram feitas as medições dessa folga e constatou-se que as mesmas estavam dentro das tolerâncias permitidas para o requisito dimensional. Daí, conclui-se que o requisito foi mal especificado, no caso, super-dimensionado.

Assim como o modo de falha 01, este também deve estar enquadrado na primeira meta da gestão dimensional do produto.

- *Modo de Falha 03 – Não avaliar/validar o(s) conceito(s) de design em relação à sensibilidade devida à variação dimensional*

Este é um modo de falha que, quando passado por despercebido pelo time de desenvolvimento de produtos, traz impactos bastante significativos para a companhia, pois significa que meios produtivos mais refinados serão necessários a fim de se entregar um produto dentro dos níveis de qualidade exigidos pelos consumidores. Isso significa custo de produção mais elevado e, conseqüentemente, custo final do produto também mais elevado, fazendo a companhia perder competitividade ou margem de lucro.

Para exemplificar este modo de falha, tem-se a não-conformidade 13, "má qualidade percebida no alinhamento entre o capô e o pára-choque dianteiro". Foi notada durante a montagem dos protótipos uma dificuldade muito grande em se conseguir um alinhamento adequado entre essas peças, pois, o efeito no aspecto estético do veículo era muito significativo. Quando a folga entre as duas peças não era constante, parecia que o veículo havia sido montado "torcido", o que resultava em um aspecto de qualidade ruim para o consumidor. Isso ocorreu em razão da leitura da folga desta interface ser percebida de diferentes ângulos de visão do consumidor. Ou seja, um consumidor

olhando o veículo tanto de frente quanto de lado, poderia facilmente "ler" essa folga e perceber que ela não estava constante, causando esse aspecto indesejável. Isso é conhecido no meio automotivo como *Perceived Quality* (Qualidade Percebida). A regra é: quanto menos possibilidades de se perceber, ou "ler", os efeitos da variação dimensional em cada interface, melhor ou mais fácil de se atingir os resultados esperados, portanto, mais robusto o projeto. Quanto mais possibilidades de "leitura", maior é o nível de exigência dos meios produtivos, que precisarão garantir um alinhamento aceitável em direções distintas, o que nem sempre é possível de acontecer.

O que levou esta não-conformidade a ser identificada tardiamente foi uma falha de comunicação entre a manufatura e o desenvolvimento de produtos, pois, regras como essas deveriam ser formalizadas como melhores práticas de projeto. A solução para resolver esta não-conformidade foi fazer uma mudança tardia de projeto, a fim de conceber uma interface que "escondesse" os efeitos da variação dimensional da visão dos consumidores, pois meios de produção mais refinados seriam inviáveis.

Este é um modo de falha que deve ser eliminado logo na definição dos conceitos de estilo do veículo, ou seja, durante as análises de viabilidade técnica dos conceitos, que representa a segunda meta do processo de gestão dimensional robusto.

- *Modo de Falha 04 – Não avaliar/validar potenciais pré-requisitos para cumprir os requisitos dimensionais*

Quando este modo de falha ocorre no início do desenvolvimento de um novo produto, pode levar ao não cumprimento de um determinado requisito, em uma região crítica do produto, de alta sensibilidade pelo consumidor.

Para exemplificar, tem-se a não-conformidade 14, "não cumprimento dos requisitos dimensionais estéticos de folga e nivelamento das portas". Este requisito foi classificado como crítico no início do desenvolvimento, pois o seu não cumprimento afetava não só o aspecto estético, ao qual o consumidor tinha grande sensibilidade, mas também tinha relação com outros índices de reclamação, como entrada de poeira e água, e até esforço excessivo para fechamento das portas. Por estes motivos, foram definidos requisitos bastante apertados, a fim de forçar uma melhoria de processo de montagem e, por

consequência, a melhoria de qualidade do veículo. Com isso, foi estabelecida a necessidade de investimento em um novo dispositivo para montagem e alinhamento robotizado das portas, que prometia cumprir estes requisitos. O problema foi que a avaliação dos índices de capacidade deste novo meio de montagem não foi bem executada e, durante a validação do processo, os requisitos não estavam sendo cumpridos, apesar de notar-se uma melhoria em relação ao processo de montagem utilizado anteriormente. Este problema levou à necessidade de criar-se uma operação adicional no processo de montagem, para fazer um ajuste fino de alinhamento, a fim de atender à necessidade do consumidor.

Este tipo de modo de falha também deve ser evitado logo no início do programa, no momento em que são feitos os levantamentos de pré-requisitos para cumprimento dos requisitos do produto, tais como investimentos em melhorias de capacidade de processo, com implementação de novas tecnologias. Dessa maneira, também se enquadra dentro da segunda meta da gestão dimensional do produto.

- *Modo de Falha 05 – Aprovar o projeto sem cumprir determinados requisitos dimensionais*

Este é um tipo de modo de falha que pode ocorrer por dois motivos: (1) os requisitos podem não ser definidos ou selecionados no início do desenvolvimento do produto, como visto no Modo de Falha 01, e, por esta razão, não serem considerados na aprovação do projeto, ou (2) os requisitos podem, sim, ser definidos, selecionados e designados, no entanto, o projeto é submetido a aprovação, mesmo sem a comprovação de que todos eles podem ser cumpridos. A causa (2) está relacionada à não existência de um processo formal de verificação e aprovação dos requisitos durante o amadurecimento do projeto.

Para exemplificar este modo de falha, apresenta-se a não-conformidade 16, "interferência entre o capô e o pára-lama (ambos os lados), danificando a pintura das peças durante a abertura e fechamento do capô". Neste caso, existe um requisito de projeto que especifica a folga mínima do capô em relação a suas peças adjacentes, para evitar este tipo de não-conformidade, ou seja, este é um requisito funcional, pois quando

não é atendido, a função de abertura do capô para permitir acesso aos componentes do compartimento do motor não é realizada com sucesso, danificando as peças adjacentes, seja ameaçando-as ou arranhando a pintura. Para definir-se a folga nominal, deve ser acrescida a uma folga mínima à variação dimensional de montagem entre essas peças, a qual deve ser calculada através das simulações dimensionais. O que aconteceu foi que a folga nominal definida em projeto foi menor do que a soma da folga mínima com a variação dimensional, ou seja, este requisito não poderia ser cumprido com as condições de projeto e processo estabelecidas. Apesar de verificada esta condição e reportada para a engenharia responsável pelo projeto, decidiu-se por simplesmente submeter o projeto para aprovação, mesmo sem cumprir este requisito, não se acatando uma recomendação de aumentar-se a folga nominal. O resultado foi que, ao se montarem-se os primeiros protótipos, a não-conformidade ocorreu, levando à necessidade de modificação de *design* (aumento da folga nominal), o que impactou o ferramental de fabricação do capô.

Este é um modo de falha que está diretamente relacionado à fase de Projeto Detalhado, onde a meta do time de engenharia dimensional deve ser determinar se o *design*, manufatura e processos de montagem "otimizados" cumprem os requisitos do produto, ou seja, Meta 03 do modelo de Gestão Dimensional do Produto.

- *Modo de Falha 06 – Mudar os requisitos sem avaliar o impacto para o consumidor*

Este é um modo de falha que, na maioria das vezes, surge como a forma mais fácil para se cumprir um determinado requisito, e ocorre quando existem pressões fortes da gerência do programa de desenvolvimento do produto para cumprir as metas e passar para uma fase seguinte do desenvolvimento. É a maneira mais fácil pois, ao alterar-se um requisito do projeto, como, por exemplo, "abrir" sua tolerância permissível, de modo que um processo, que antes não era capaz de cumpri-lo, passa agora a cumpri-lo, sem qualquer mudança de processo ou investimento adicional. O problema pode ocorrer quando essa alteração não é avaliada do ponto de vista do consumidor.

Para exemplificar, tem-se a não-conformidade 19, "mau alinhamento da tampa do porta-malas em relação às colunas traseiras (direita e esquerda) - maior percepção nos cantos superiores". Este requisito ainda durante a fase de Projeto Detalhado, foi tido

como impossível de ser cumprido dentro do orçamento disponível para melhorias no processo de montagem. Ao invés de reportar-se este impasse para a alta gestão do produto, simplesmente o requisito foi alterado sem qualquer análise do impacto para o consumidor. O resultado foi então percebido somente na validação do processo, quando a manufatura estava efetuando a montagem dentro da especificação, porém nas condições extremas (aproximadamente 10mm de folga), em que o aspecto estético era inaceitável, pois parecia que a tampa estava aberta ou mal fechada. Nessa altura do desenvolvimento, a única solução foi fazer um controle de manufatura mais rigoroso e, adicionalmente, criar uma estação de alinhamento (fábrica oculta), para refinar os casos mais críticos. Fazendo-se um balanço, caso tivesse sido feito um investimento extra para melhoria de processo planejado na fase de Projeto Detalhado, com certeza o custo seria bem menor e o consumidor ficaria mais satisfeito com a qualidade percebida do veículo.

Assim, como no Modo de Falha 05, esta também é uma atividade que deve ser feita durante o detalhamento do projeto.

- *Modo de Falha 07 – Liberar projetos de peças sem seguir as considerações feitas nas análises de simulação dimensional*

Este tipo de modo de falha está associado a duas causas: (1) as peças produzidas não apresentam os mesmos localizadores (furos, pinos e superfícies de acoplamento) conforme intenção de projeto nos estudos de simulação dimensional, ou (2) as tolerâncias especificadas no projeto são diferentes das consideradas nos mesmos estudos.

Para exemplificar o primeiro caso, tem-se a não-conformidade 20, "mau alinhamento entre o pára-brisa e o teto". A sua ocorrência foi devida à não existência de um furo no teto, responsável por localizar/posicionar o pára-brisa. A não existência deste furo não garantia o posicionamento adequado do pára-brisa, o que ocasionava um aspecto indesejável de alinhamento com o teto e com as colunas dianteiras da carroceria. Este aspecto é indesejável porque uma folga não constante entre estas peças pode também comprometer no veículo a correta vedação, permitindo a entrada de água e poeira.

Para o segundo caso podemos tomar como exemplo a não-conformidade 24, "interferência entre a guarnição do vidro basculante dianteiro e o pára-lama, causando ondulações na guarnição". Isto reduz a qualidade estética do veículo. Neste caso, a tolerância especificada de projeto para o comprimento total da guarnição estava mais aberta do que a considerada nos estudos de simulação dimensional. Sendo assim, quando as peças produzidas apresentavam o comprimento maior do que o simulado, no entanto, dentro da tolerância especificada, a montagem se dava de maneira forçada (com interferência), o que ocasionava a ondulação indesejável. Ou seja, o fornecedor estava entregando as peças dentro das tolerâncias especificadas, no entanto estas especificações estavam erradas, pois não garantiam a funcionabilidade da peça.

Ambos estes casos foram devidos a uma falha de comunicação entre o time de engenharia dimensional e o time de engenharia responsável pela liberação dos projetos das peças, pois, no momento da liberação, não foram consideradas (ou respeitadas) as condições utilizadas nas simulações dimensionais. Por esse motivo, este modo de falha decorre do não cumprimento da Meta 04 – Assegurar que a documentação dimensional do produto esteja correta. Dentre as várias consequências deste modo de falha, pode-se citar possíveis mudanças tardias de ferramental e renegociação de preço de fabricação de peças com fornecedores, pois faz-se necessário restringir tolerâncias novamente.

- *Modo de Falha 08 – Liberar projetos de métodos de montagem, sem seguir as considerações feitas nas análises de simulação dimensional*

Este modo de falha é bem semelhante ao anterior, porém, ao invés de tratar-se de uma falha de comunicação com a engenharia responsável pela liberação dos projetos das peças, neste caso a falha de comunicação é com a engenharia de manufatura que é responsável pela liberação dos projetos dos meios ou métodos de montagem das peças (dispositivos). Sendo assim, da mesma forma, este modo de falha também decorre do não cumprimento da Meta 04.

Os dispositivos de montagem também devem seguir especificações de GD&T conforme analisado nos estudos de simulação dimensional, ou seja, devem seguir os conceitos de esquemas de localizadores e tolerâncias utilizados nas simulações, caso

contrário, novas variáveis serão acrescentadas ao processo de montagem, aumentando a variação dimensional acumulada. Para exemplificar, analisa-se a não-conformidade 31, "impossibilidade de montar o pára-lama alinhado com a lateral da carroceria, assim como o capô em relação ao pára-lama". Esta não-conformidade foi observada durante a montagem dos protótipos porque os dispositivos de montagem, mesmo que provisórios, não seguiram o conceito de localização para posicionar essas peças em relação a carroceria. Ou seja, durante os estudos de simulação dimensional, foram definidos determinados localizadores (furos e superfícies de acoplamento) na carroceria, que deveriam ser utilizados para posicionar o pára-lama e, conseqüentemente, o capô. Ou seja, estes localizadores seriam as suas referências (*datums*) de montagem. As variações de posição desses localizadores eram conhecidas e controladas pela manufatura, pois foram assinaladas como características significativas no processo de montagem. Ao conceber esses dispositivos provisórios, novos localizadores foram selecionados para referencial de montagem dessas peças, ou seja, novas variáveis de montagem foram acrescentadas, resultando numa perda de qualidade de alinhamento do capô com o pára-lama.

- *Modo de Falha 09 – Criar Planos de Medição incompatíveis com as saídas das simulações dimensionais*

Este é um modo de falha que influencia diretamente a detecção prévia de não-conformidades. Planos de medição robustos determinam etapas-chave do processo de montagem para se fazer a aferição dimensional, seja em componentes, subconjuntos ou no produto completo. Isso elimina a necessidade de ter que montar todo o produto, para então verificar se existem não-conformidades e, por fim, iniciar as investigações das causas-raízes. Sendo assim, planos de medição compatíveis reduzem desperdícios, operações de ajuste ("fábricas ocultas") e tempo gasto para identificação de causas-raízes das não-conformidades.

As quatro não-conformidades identificadas na amostra do Veículo X (ver Apêndice A) são provenientes deste modo de falha, ou seja, elas ocorreram porque o controle dimensional da carroceria não estava sendo efetivo. Faltavam dados dimensionais de

características significativas responsáveis pela montagem dos sistemas em questão: tampa do porta malas, motor e suspensão. Isso ocorreu porque o plano de medição utilizado foi simplesmente copiado de um veículo similar, sem que qualquer análise crítica de características significativas fosse conduzida. As saídas dos modelos de simulação dimensional, que podem proporcionar grande contribuição para a determinação destas características, não foram sequer consideradas. Sendo assim, o plano de medição estabelecido não tinha a efetividade esperada e impossibilitava a antecipação das não-conformidades, as quais, quando ocorriam, também eram analisadas de maneira pouco eficaz, pois faltavam os dados dimensionais para analisar suas causas-raízes. O tempo gasto então para resolver cada uma delas foi enorme e, muitas vezes, não havia embasamento em dados técnicos coerentes, o que levava também a soluções não muito robustas.

Como a criação do plano de medição de manufatura dever ser feita em paralelo com as atividades de liberação de projeto de peças e métodos de manufatura, este modo de falha também decorre do não cumprimento da Meta 04, ainda na fase de Projeto Detalhado. A associação desse plano de controle com os estudos de simulação dimensional é fundamental, como visto no Capítulo 2 (Revisão da Literatura).

- *Modo de Falha 10 – Validação dimensional inadequada de peças e subconjuntos (end-items)*

Este modo de falha está relacionado ao controle dimensional de peças logo após serem fabricadas, ou então de subconjuntos, chamados de *end-items*, que são aqueles que a companhia compra como um pacote único de seus fornecedores, como por exemplo o farol. Pode decorrer de dois fatores: (1) não fazer a aprovação e liberação correta dos desenhos, com as especificações de GD&T compatíveis com as considerações utilizadas nos modelos de simulação dimensional, ou (2) conceber dispositivos de aferição dimensional que não representem a funcionalidade das peças, ou seja, não simulem a forma pela qual as peças são montadas. Basicamente a primeira causa foi tratada no Modo de Falha 07. Quanto à segunda, cometer este tipo de erro pode

levar à aprovação de peças ruins e/ou reprovação de peças boas, o que levará a desperdícios, retrabalho e não-conformidades.

Para exemplificar uma não-conformidade relacionada a esta segunda causa, tem-se a 45, "Folga excessiva entre as guarnições do teto e dos pilares A-B-C, causando má qualidade estética do veículo, facilmente percebida pelos consumidores" (Apêndice A). Este é um típico problema em que o fornecedor intencionalmente desenvolve dispositivos de medição para aprovar todas as peças. Sabe-se que a guarnição do teto é um painel relativamente grande e bastante flexível e, por isso, ele apresenta um grande número de pontos de fixação na carroceria, de modo que o mesmo se acomode às variações dimensionais do processo de montagem. O dispositivo de medição desta peça deveria apresentar exatamente estes mesmos pontos de fixação, conforme a peça é submetida no processo de montagem. Aconteceu que, verificando-se este dispositivo, foi identificada uma série de outros pontos de fixação. Isso fazia com que as peças se acomodassem a todos estes pontos, trazendo-as para dentro da tolerância, fazendo com que todas as peças fossem aprovadas. No entanto, quando as peças eram soltadas dos dispositivos, voltavam para a sua forma e tamanho originais, que não necessariamente estavam dentro das tolerâncias aceitáveis.

Este modo de falha tipicamente ocorre nas fases de Validação do Produto e do Processo, podendo estender-se até a Produção, pois, logicamente está relacionado ao recebimento de peças protótipo ou definitivas.

- *Modo de Falha 11 – Controle dimensional inadequado durante a montagem do produto*

Diferentemente do Modo de Falha 10, que trata do controle dimensional de peças e *end-items*, este trata do controle ao longo do processo de montagem do produto, o qual recebe peças de fornecedores distintos, montando-as uma a uma até obter o produto final. Devem ser estabelecidos planos de medição em etapas-chave do processo, de modo a antecipar potenciais não-conformidades e tomar ações corretivas antes mesmo que elas ocorram. A principal causa deste modo de falha está relacionada à criação de Planos de Medição não robustos, ou seja, que não considerem as características

significativas do produto e suas tolerâncias permissíveis, conforme saídas dos modelos de simulação dimensional. Sendo assim, ele está mais relacionado a um efeito do Modo de Falha 09, do que propriamente ser mais um modo de falha.

Tomemos como exemplo a não-conformidade 56, "impossibilidade de montar a tampa do porta-malas no vão entre as colunas traseiras da carroceria". Esta não-conformidade foi detectada somente no momento da montagem da tampa, após várias carrocerias terem sido previamente montadas. O problema em questão não foi um erro de projeto, pois se a carroceria e a tampa estivessem dentro da tolerância especificada, a tampa poderia ser montada sem problemas. O que ocorreu foi que o Plano de Medição não continha todas as características significativas envolvidas com a montagem da tampa, deixando-as sem inspeção, não sendo possível prever a ocorrência da não-conformidade e tomar ações corretivas no processo de montagem. Isto resultou em retrabalho e, conseqüentemente, atraso no prazo de montagem dos protótipos.

Assim como o Modo de Falha 10, este também está relacionado às fases de Validação do Produto e do Processo, podendo também estender-se até a produção.

- *Modo de Falha 12 – Não validar o modelo dimensional em relação ao processo de montagem*

Durante a fase de Validação do Processo, podem ocorrer pequenas mudanças de processo por motivos que não puderam ser captados durante o desenvolvimento do Projeto Detalhado. Quando isso ocorre e não é comunicado ao time de Engenharia Dimensional, a avaliação do impacto destas mudanças não é feita, podendo levar à ocorrência de não-conformidades e afetar os índices de capacidade esperados do processo.

Para exemplificar, analisam-se as não-conformidades 63 e 64 (Apêndice A). Nos dois casos, a montagem do farol dependia diretamente da variação dimensional de montagem do suporte do radiador, visto que o farol era fixado nele. Aconteceu que o dispositivo de montagem deste suporte teve que ser modificado, utilizando outras referências na carroceria para a sua montagem, o que levou a uma variação dimensional maior do que havia sido determinada. Conseqüentemente, isso acabou afetando a

variação dimensional de montagem do farol, ora impedindo sua montagem, ora fazendo com que os requisitos dimensionais estéticos relacionados não fossem cumpridos. Como essas modificações do referido dispositivo não foram comunicadas, a análise de impacto não foi feita, levando à ocorrência das não-conformidades em questão, exigindo retrabalho e operações de ajuste.

Além disso, outro problema que pode ocorrer é a não validação de capacidade do processo de montagem em relação aos modelos de simulação dimensional. Sabe-se que esses modelos ainda não são capazes de representar todas as fontes de variação dimensional, sendo assim, podem ocorrer etapas do processo em que os índices de capacidade esperados não sejam atendidos, por mais que sejam feitos esforços de melhoria. Isso também pode levar aos mesmos problemas decorrentes da não avaliação de mudanças de processo. As não-conformidades 61 e 62 (Apêndice A), relacionadas ao painel traseiro e ao pára-choque traseiro, que é fixado nele, são exemplos decorrentes da não avaliação da capacidade do processo. Nestes casos foi notado que a capacidade de montagem do painel não estava sendo alcançada devido ao efeito de gravidade na montagem desta peça. Esse efeito não havia sido considerado no modelo dimensional, levando à ocorrência dessas não-conformidades.

Estas foram algumas não-conformidades escolhidas para ilustrar a determinação dos modos de falha no processo atual de gestão dimensional da Alfa Motors, identificadas até as fases de validação do produto e do processo. A seguir apresentam-se os modos de falha relacionados à fase de Produção do produto, determinados a partir da observação das não-conformidades coletadas para o Veículo Y.

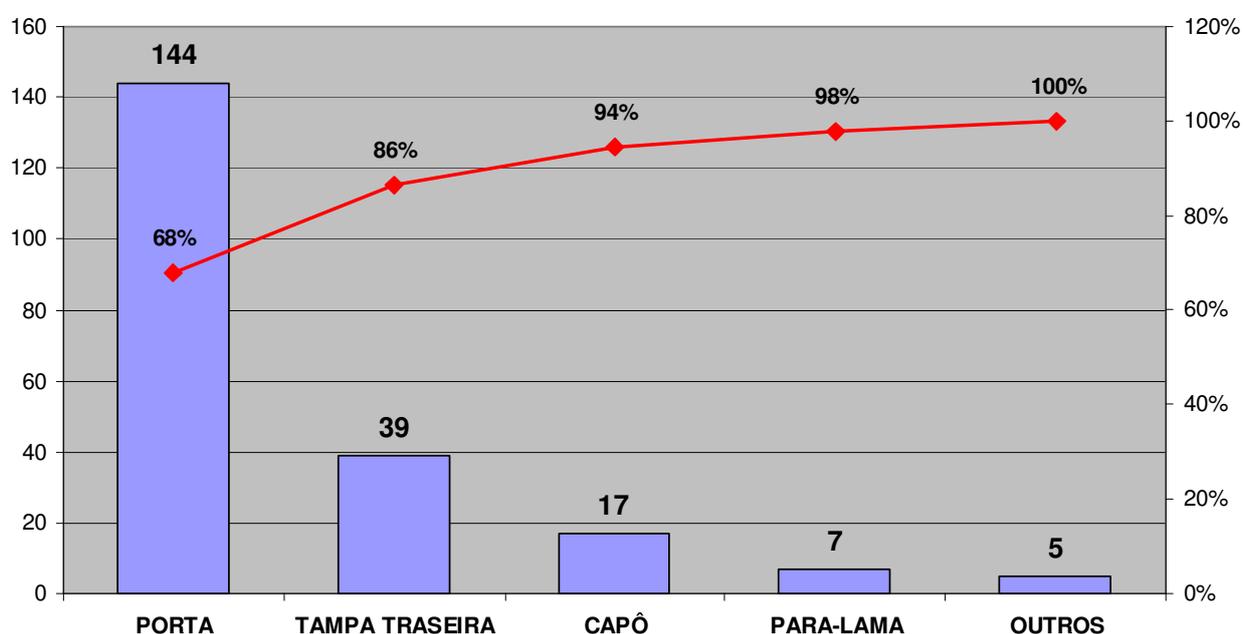
#### 4.2.2 Coleta de dados de não-conformidades dimensionais para o Veículo Y

Conforme mencionado no Capítulo 3 – Metodologia – as não-conformidades dimensionais do Veículo Y foram extraídas de um banco de custos de garantia, onde focou-se no Código de Reclamação do Cliente (CRC) denominado "mau encaixe dos painéis de carroceria". Todas essas não-conformidades são oriundas de mau controle

dimensional. O Apêndice B apresenta a tabela extraída do referido banco de dados, contendo as 212 não-conformidades relacionadas ao CRC.

A partir desta tabela, construiu-se o Diagrama de Pareto apresentado no Gráfico 01, que mostra a incidência de não-conformidades por tipo de painéis (peças) do Veículo Y, onde a de maior número de incidência (portas) será detalhada a seguir, para entender-se o modo de falha do processo atual de gestão dimensional da Alfa Motors, no que tange a veículos em produção.

Gráfico 01 – Diagrama de Pareto das não-conformidades do Veículo Y



Fonte: coleta de dados (Janeiro à Setembro de 2011)

A linha em "vermelho" representa o percentual acumulado de incidências do CRC em questão que teriam sido resolvidas, se as não-conformidades em cada uma das peças tivessem sido completamente sanadas. Sendo assim, caso todas as não-conformidades relacionadas às portas tivessem sido resolvidas, 68% dos problemas relacionados a "mau encaixe dos painéis de carroceria" seriam resolvidos.

Analisando-se a descrição do comentário do consumidor em cada uma das não-conformidades relacionadas às portas (Apêndice B), obtêm-se reclamações do tipo: portas desalinhadas causando mau aspecto estético, dificultando abertura e fechamento, permitindo entrada de água e poeira, entre outros. Em uma análise da causa desta não-

conformidade na companhia, verificou-se que o processo de manufatura não está sendo capaz de montar as portas dentro das variações permissíveis (requisitos do produto) de folga e nivelamento com as suas peças adjacentes. Ou seja, sabe-se que o processo de manufatura não atinge a capacidade esperada, no entanto, devido à pressões por produção e venda, decidiu-se conviver com o problema e repará-lo nas concessionárias, quando e se os clientes reclamarem.

Também é sabido que este tipo de não-conformidade se repete veículo a veículo, a cada novo lançamento, e ações de projeto e processo que poderiam evitá-las não são eficazmente implementadas. Isso leva a identificação de dois modos de falha no processo atual de gestão dimensional do produto na companhia: (1) baixa representatividade do modelo de simulação dimensional versus a real capacidade do processo de manufatura, ou (2) não direcionamento de reclamações do consumidor no desenvolvimento de novos produtos.

O primeiro foi tratado dentro dos modos de falha identificados para o Veículo X, sendo assim, espera-se que com a implementação de melhores práticas propostas, o mesmo seja eliminado. Com relação ao segundo, verifica-se que este modo de falha tem grande impacto financeiro e sobre a satisfação do consumidor. Isto é agravado pelo fato de não se transmitir as reclamações dos clientes para os times de engenharia envolvidos, neste caso, o de Engenharia Dimensional. Como consequência, não se dá a devida atenção ao problema, fazendo com que novos produtos sejam lançados e a não-conformidade se repita. Ao incluir-se este modo de falha no Modelo de Análise, este será identificado como "*modo de falha 13*", dando sequência, assim, à ordem numérica dos 12 (doze) modos de falha já identificados para o Veículo X.

Pode-se extrapolar estes modos de falha para as outras não-conformidades, relacionadas às outras peças, pois, na essência, os motivos que levam à recorrência desses problemas são os mesmos.

O fato é que, no fim, todos esses modos de falha, sejam os identificados em protótipos ou durante a produção, levam a perdas significativas para a companhia, impactando custo, tempo e qualidade.

Completada esta etapa de identificação dos modos de falha, tem-se a seguir a apresentação da retroalimentação dessas informações no Modelo de Análise, conforme proposta na Metodologia.

### 4.3 Passo 3 – Preenchimento do Modelo de Análise com os modos de falha

A partir das informações obtidas no segundo passo, apresenta-se, na Tabela 08, o Modelo de Análise preenchido conforme proposto no Capítulo 3 – Metodologia.

Tabela 08 – Modelo de Análise preenchido com informações dos modos de falha

(continua)

Descrição do Processo	Meta do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha Potencial	Controle Atual	Ação Recomendada
Gestão Dimensional do produto	<p><u>META 01</u> Definir claramente os requisitos dimensionais (estéticos e funcionais) do produto</p>	<p><u>Modo de Falha 01</u> Não definir requisitos dimensionais para determinados atributos do veículo</p>	<p>Possibilidade de ocorrência de não-conformidades identificadas tardiamente, levando a mudanças de projeto, paradas de produção ou impactos de qualidade para o consumidor, dependendo de quando e por quem for identificada</p>	<p>Inexistência de requisitos dimensionais;  Inexperiência do time de engenharia responsável pelo desenvolvimento de um determinado sistema, que não consegue prever as potenciais falhas</p>		
		<p><u>Modo de Falha 02</u> Sub/Super dimensionar os requisitos dimensionais do veículo</p>	<p>Mudanças tardias de projeto para corrigir uma condição que aparentemente era aceitável;  Encarecimento do custo do produto desnecessariamente, levando a perda de competitividade</p>	<p>Desconhecimento dos produtos concorrentes;  Desconhecimento das necessidades e desejos dos consumidores</p>		
	<p><u>META 02</u> Analisar a viabilidade técnica dimensional dos conceitos de design do produto</p>	<p><u>Modo de Falha 03</u> Não avaliar/validar o(s) conceito(s) de <i>design</i> em relação à sensibilidade devida a variação dimensional</p>	<p>Mudanças tardias de projeto;  Necessidade de meios produtivos mais refinados, elevando o custo de produção;  Necessidades de "fábricas ocultas" para operações de ajuste</p>	<p>Falha de comunicação entre manufatura e desenvolvimento de produtos, e conceber projetos sem levar em consideração restrições de manufatura</p>		
		<p><u>Modo de Falha 04</u> Não avaliar/validar potenciais pré-requisitos para cumprir os requisitos dimensionais</p>	<p>Não cumprir requisitos dimensionais críticos do produto;  Necessidades de "fábricas ocultas" para operações de ajuste</p>	<p>Desconhecimento de dados de capacidade, seja de processos similares ou de novas tecnologias</p>		

Tabela 08 – Modelo de Análise preenchido com informações dos modos de falha

(continuação)

Descrição do Processo	Meta do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha Potencial	Controle Atual	Ação Recomendada
Gestão Dimensional do produto	<p><b>META 03</b> Constatar que o projeto, manufatura e processo de montagem otimizados atendem os requisitos dimensionais do produto</p>	<p><b>Modo de Falha 05</b> Aprovar o projeto sem cumprir determinados requisitos dimensionais</p>	<p>Não cumprir determinados requisitos do produto;</p> <p>Mudanças tardias de projeto;</p> <p>Necessidade de controle severos no processo de manufatura, elevando o custo de produção</p>	<p>Não definir os requisitos a serem verificados</p> <p>Submeter o projeto para aprovação sem comprovar que os requisitos foram cumpridos</p>		
		<p><b>Modo de Falha 06</b> Mudar os requisitos sem avaliar o impacto para o consumidor</p>	<p>Necessidade de custos adicionais de manufatura, devido a controles mais rigorosos e "fábricas ocultas" para operações de refinamento</p> <p>Potencial insatisfação do consumidor</p>	<p>Pressões da gerencia do programa para validar o cumprimento dos requisitos e seguir adiante com o desenvolvimento</p>		
		<p><b>Modo de Falha 07</b> Liberar projetos de peças sem seguir as considerações feitas nas análises de simulação dimensional</p>	<p>Aprovar peças ruins ou reprovar peças boas, em relação ao dimensional das mesmas, enquanto fornecidas para montagem de protótipos e produção;</p> <p>Ocorrência de não-conformidades que não deveriam existir;</p> <p>Mudanças tardias de ferramental;</p> <p>Renegociação de custo com fornecedores devido a redução de tolerâncias</p>	<p>Falha de comunicação entre times de engenharia</p>		
	<p><b>Modo de Falha 08</b> Liberar projetos de métodos de montagem, sem seguir as considerações feitas nas análises de simulação dimensional</p>	<p>Adição de variação dimensional desnecessária na montagem do produto, gerando condições de dificuldade ou não-montagem de peças e, consequentemente, não cumprimento de requisitos;</p> <p>Ocorrência de não-conformidades que não deveriam existir</p>				
	<p><b>META 04</b> Assegurar que a documentação dimensional do produto esteja correta</p>	<p><b>Modo de Falha 09</b> Criar Planos de Medição incompatíveis com as saídas das simulações dimensionais</p>	<p>Fazer o controle dimensional inadequado durante a montagem do produto;</p> <p>Aumento de desperdícios e operações de ajustes (fábricas ocultas) para reparar não-conformidades somente verificadas após o veículo completo produzido;</p> <p>Dificuldade de identificação das causas-raízes das não-conformidades devido a falta dos dados dimensionais necessários</p>	<p>Cópia de planos de medição de produtos similares, sem uma análise crítica da necessidade de se adicionar pontos de controle</p>		

Tabela 08 – Modelo de Análise preenchido com informações dos modos de falha

(conclusão)

Descrição do Processo	Meta do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha Potencial	Controle Atual	Ação Recomendada
Gestão Dimensional do produto	META 05 Validar os requisitos dimensionais do produto com protótipos através do plano de medição	Modo de Falha 10 Validação dimensional inadequada de peças e subconjuntos (end-items)	Aprovar peças ruins e reprovar peças boas, ocasionando desperdícios, retrabalho e não-conformidades	Não fazer a aprovação e liberação correta dos desenhos, com as especificações de GD&T compatíveis com as considerações utilizadas nos modelos de simulação dimensional		
				Conceber dispositivos de aferição dimensional que não representem a funcionalidade das peças, ou seja, não simulem a forma pela qual as peças são montadas		
		Modo de Falha 11 Controle dimensional inadequado durante a montagem do produto	Impossibilidade de antecipar não-conformidades e tomar ações preventivas;  Desperdício, retrabalho e dificuldade de identificar causas-raízes das não-conformidades	Criar Planos de Medição incompatíveis com as saídas das simulações dimensionais		
	META 06 Validar a capacidade do processo de manufatura conforme intenções de projeto	Modo de Falha 10 Validação dimensional inadequada de peças e subconjuntos (end-items)	Idem	Idem		
		Modo de Falha 11 Controle dimensional inadequado durante a montagem do produto	Idem	Idem		
		Modo de Falha 12 Não validar o modelo dimensional em relação ao processo de montagem	Ocorrência de não-conformidades e dificuldade para identificar suas causas-raízes	Alterações no processo de montagem não previstas no desenvolvimento do projeto  Baixa capacidade do processo em atingir as intenções de projeto, devido a fontes de variação não analisadas nos modelos dimensionais		
	META 07 Retroalimentar o desenvolvimento de produtos com informações da produção	Modo de Falha 13 Não direcionamento de reclamações do consumidor no desenvolvimento de novos produtos	Continua perda de satisfação dos clientes e confiabilidade com a marca;  Aumento gradativo de custos com garantia, para reparo das não-conformidades	Falha de comunicação		

Fonte: elaborado pelo autor

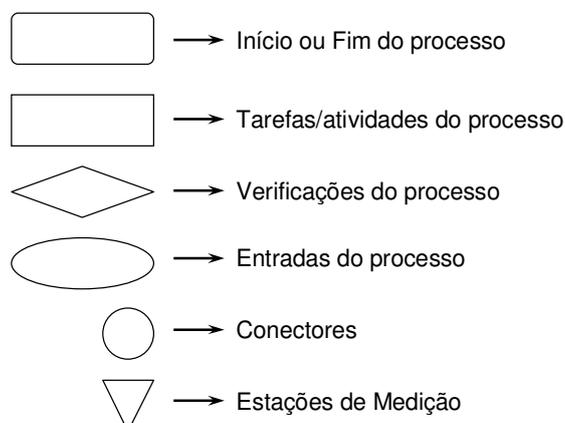
Conforme pode ser verificado, nenhuma causa dos modos de falha foi relacionada a pessoas. Sabe-se que falhas podem ter origem em ações de pessoas, porém a abordagem comportamental foge do escopo deste estudo que se limita a tratar das questões técnicas e metodológicas voltadas para a gestão dimensional.

Segue-se para o quarto passo, o qual trata da proposta de práticas de gestão dimensional para a companhia, a partir do referencial bibliográfico revisto e da análise do cenário atual da companhia, que servirá de base para criar o modelo de gestão dimensional em um PDP genérico.

#### 4.4 Passo 4 – Formulação de práticas de aprimoramento de gestão dimensional

Seguindo a sequência do Modelo de Análise, as práticas de aprimoramento serão propostas para cada modo de falha, considerando-se o cenário atual da companhia e a referência bibliográfica levantada. Também serão abordadas questões como papéis e responsabilidades dos times que compõem o desenvolvimento de produtos num ambiente de engenharia simultânea, a fim de atingir as metas/objetivos da gestão dimensional em cada fase do PDP. As tarefas e atividades das referidas práticas serão apresentadas na forma de fluxogramas, de maneira que, ao final, seja possível mapeá-las dentro do PDP, apresentando-se as ligações e interações entre as atividades, a fim de se garantir o fluxo de informações ao longo de todo o processo. A seguinte simbologia será usada para montar esses fluxogramas:

Figura 17 – Simbologia aplicada aos fluxogramas



Fonte: elaborado pelo autor

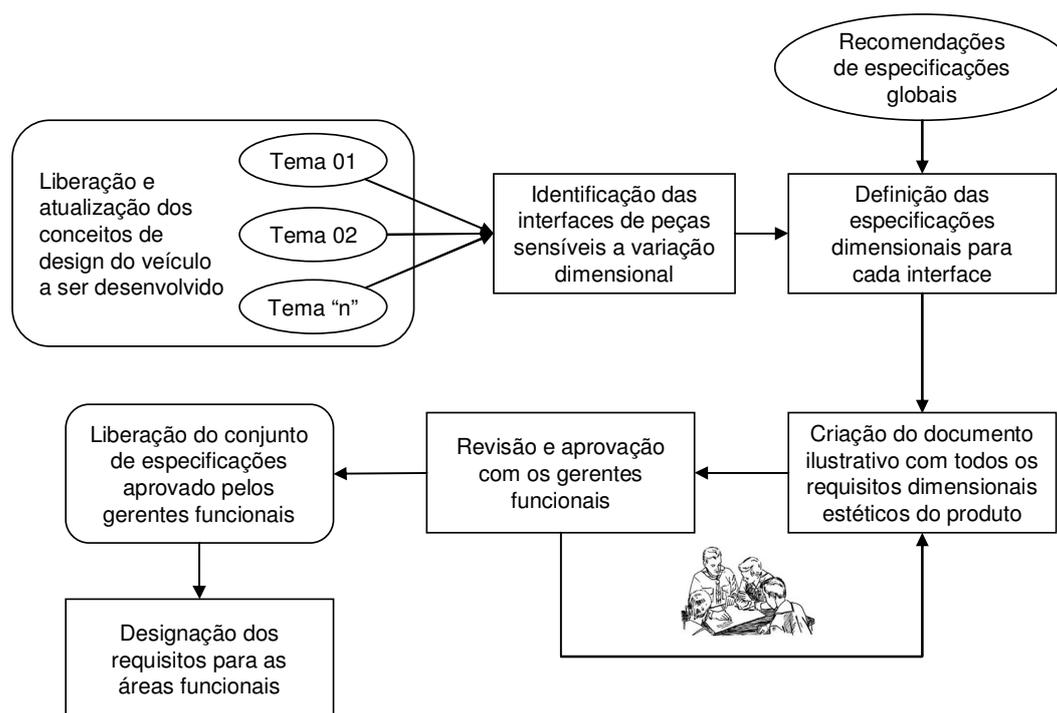
Para os fluxos de práticas de gestão dimensional a seguir apresentados, os símbolos em "branco" representam atividades existentes na companhia, e os símbolos em "azul" representam as propostas de práticas de aprimoramento de gestão dimensional oriundas do presente estudo.

#### 4.4.1 Meta 01 – Definir claramente os requisitos dimensionais (estéticos e funcionais) do produto

- *Modo de Falha 01 – Não definir requisitos dimensionais para determinados atributos do veículo*

Conforme apresentado no Modelo de Análise preenchido (Tabela 08), este modo de falha está mais relacionado aos requisitos dimensionais funcionais do produto. Hoje, já existe na Alfa Motors um processo formal de definição e designação dos requisitos dimensionais estéticos, o qual proporciona orientação para a engenharia, no desenvolvimento de soluções para atender estes requisitos, atuando como metas que são cobradas pela alta gerência de desenvolvimento do produto. Esse processo atende ao primeiro objetivo de um processo de gestão dimensional robusto, que é definir claramente os requisitos dimensionais do produto, conforme visto no Capítulo 2 – Revisão da Literatura. Assim, a proposta para eliminar este modo de falha é replicar um processo semelhante para os requisitos dimensionais funcionais. Com isso, faz-se necessário, então, apresentar primeiramente como é o processo de definição e designação dos requisitos dimensionais estéticos, para, então, propor práticas para o processo dos requisitos funcionais. A Figura 18 apresenta o fluxograma de atividades do processo existente para os requisitos dimensionais estéticos.

Figura 18 – Fluxograma do processo de definição e designação de requisitos dimensionais estéticos



Fonte: elaborado pelo autor

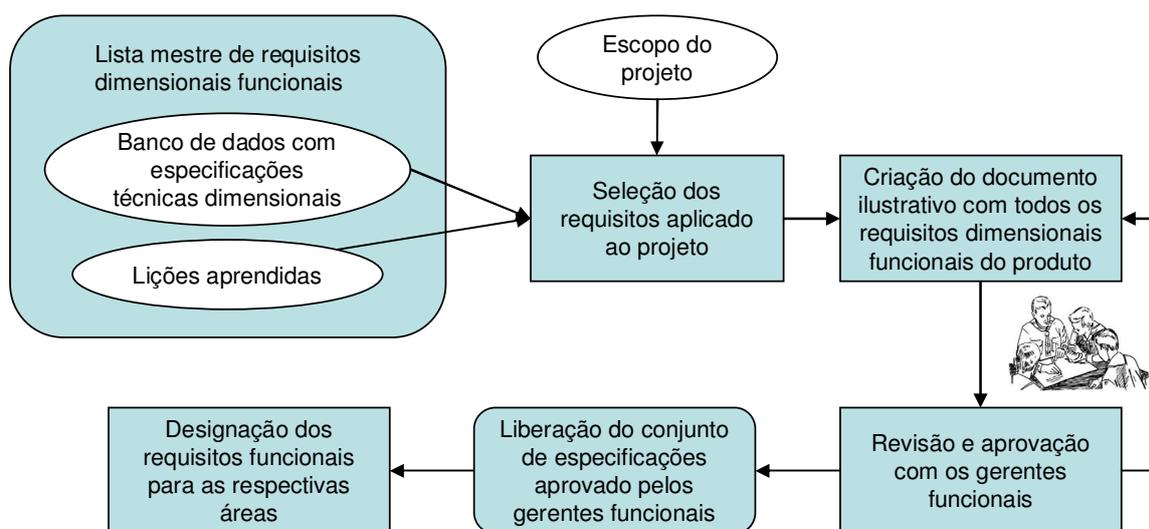
Observa-se que, no início do programa, de acordo com os conceitos de *design* (temas) pré-estabelecidos, são determinadas as interfaces do veículo que requerem um controle dimensional de folga e nivelamento, para garantir a qualidade estética do mesmo. No caso da Alfa Motors, para cada interface, existem requisitos globais únicos pré-definidos, com especificações de tolerâncias baseadas nos melhores veículos da companhia e/ou orientações características da marca, conhecidas no meio automotivo como "DNA da marca". Esses requisitos são então selecionados para cada interface, como por exemplo, farol para capô, porta para pára-lama, tampa traseira para lanterna, entre outros. Estes, por sua vez, são reunidos em um desenho de engenharia único para cada produto a ser desenvolvido, o qual engloba ilustrações de cada interface, com seções conceituais, mostrando como devem ser medido cada requisito e qual a especificação para cada um, garantindo, dessa forma, uma comunicação clara destes requisitos. Busca-se, então, a aprovação dos gerentes funcionais para o desenho e, quando aprovado, o mesmo é designado para os times funcionais, os quais desenvolverão as soluções para atendê-lo. Logicamente, alguns destes requisitos

acabam sendo revistos durante o desenvolvimento, quando não são possíveis de serem cumpridos e o impacto para o consumidor não for tão significativo.

A principal falha desse processo é seguir "cegamente" estes requisitos globais, sem uma análise crítica em relação ao *benchmarking* local e classe do veículo a ser desenvolvido: popular, luxo, esportivo, entre outros. Esta falha será abordada em um outro modo de falha.

A seguir, por analogia com os requisitos estéticos, propõe-se um processo para definição e designação dos requisitos dimensionais funcionais do veículo. Primeiramente, ao invés de uma análise dos temas de *design* do veículo, a análise seria sobre o escopo do projeto, ou seja, quais são os novos sistemas a serem desenvolvidos para o novo veículo. A partir dessa análise, devem ser levantados todos os requisitos dimensionais funcionais que se aplicam aos novos sistemas. Sabe-se que toda grande companhia desenvolvedora de veículos já possui um banco de dados de especificações técnicas, sendo assim, este seria a primeira fonte de identificação de requisitos dimensionais. A segunda seriam as lições aprendidas da produção, conforme recomendações feitas na literatura, ou seja, um resgate das não-conformidades que ocorreram e como as mesmas devem ser evitadas. Recomenda-se, neste caso, criar uma lista-mestre com o conjunto dessas fontes de requisitos dimensionais, a ser constantemente atualizada com novas lições aprendidas a cada novo produto desenvolvido. De posse deste banco de dados e do escopo do projeto, seriam selecionados os requisitos que se aplicam ao novo produto, criando-se um documento único para reuni-los, o qual deveria ser submetido a revisão e aprovação pelos gerentes funcionais, para, então, ser designado para as devidas áreas, assim como é feito para os requisitos estéticos. A Figura 19 ilustra este fluxo de atividades proposto.

Figura 19 – Fluxograma do processo de definição e designação de requisitos dimensionais funcionais



Fonte: elaborado pelo autor

É importante também definir papéis e responsabilidades de cada time neste processo. No caso dos requisitos estéticos, deve existir um time que represente as necessidades do mercado consumidor quanto à percepção de qualidade estética do veículo. Esse time deve conhecer profundamente as necessidades do consumidor e transformá-las em requisitos técnicos mensuráveis. Sendo assim, o referido time deve ser responsável pela definição dos requisitos dimensionais estéticos. No caso dos requisitos funcionais, quem deve manter a planilha mestre, selecionar e submeter os requisitos para aprovação dos gerentes funcionais é o time de engenharia dimensional. Já a especificação dimensional de cada requisito deve ser feita por especialistas técnicos de cada sistema.

Dessa maneira, essas atividades são capazes de conter as principais causas apresentadas para este modo de falha e iniciar o processo de gestão dimensional de forma robusta, pelo menos no que diz respeito à determinação dos requisitos dimensionais a serem verificados e cumpridos para um novo produto. Para tornar esta primeira meta da gestão dimensional mais robusta ainda, deve ser melhorado o processo de determinação das especificações permissíveis para cada requisito, o qual será visto no tópico a seguir.

- *Modo de Falha 02 – Sub/Super dimensionar os requisitos dimensionais do veículo*

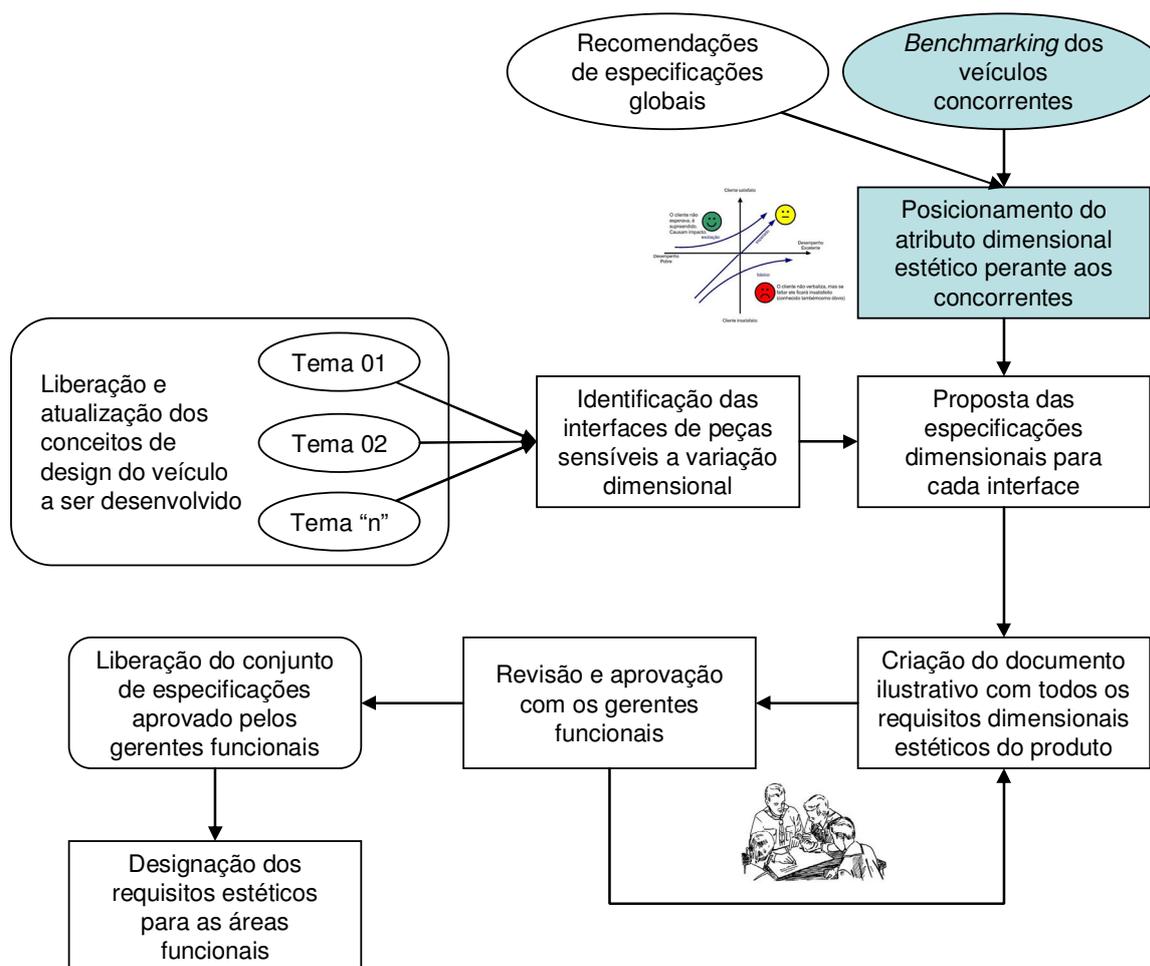
Este modo de falha está mais relacionado com os requisitos estéticos, pois acabam sendo subjetivos, devido à tentativa de traduzir a necessidade dos consumidores em especificações técnicas mensuráveis. Os requisitos funcionais, quando definidos por times de especialistas técnicos, já trazem todo um embasamento que justifica objetivamente as especificações de tolerâncias.

Pelo fluxograma de definição e designação dos requisitos estéticos (Figura 18), percebe-se que as especificações destes requisitos partem de uma diretriz global, devido ao fato de cada vez mais os produtos serem padronizados nos diferentes mercados globais. A causa deste modo de falha na Alfa Motors é que estes requisitos são definidos para os melhores produtos da companhia, geralmente os veículos luxuosos, tornando-se requisitos únicos para cada tipo de interface veicular. Quando estes mesmos requisitos são definidos para o desenvolvimento de veículos populares, por exemplo, os quais têm menos recursos disponíveis, o seu cumprimento passa a ser um grande desafio e muitas vezes sem necessidade, pois sabe-se que o nível de exigência deste mercado consumidor é mais baixo. É neste ponto que reside a principal causa deste modo de falha, ou seja, adotar requisitos globais sem uma análise crítica da classe do produto a ser desenvolvido, seu mercado consumidor e, principalmente, do nível de qualidade praticado pelos concorrentes. É sempre conveniente desafiar a engenharia a entregar um produto cada vez mais refinado, independentemente da classe; no entanto, deve-se, sempre que possível, fazer uma ponderação para evitar gastos considerando-se impacto para o consumidor.

Sendo assim, a especificação dos requisitos estéticos deve passar por uma comparação com os concorrentes (*benchmarking*), conforme proposto pela Literatura. Esta atividade pode ser comprada de organizações independentes, que fazem comparações dos diversos atributos veiculares entre os concorrentes, em cada mercado consumidor.

A partir das informações de *benchmarking*, parte-se para uma definição mais embasada de cada especificação de tolerâncias. A Figura 20 mostra o fluxograma proposto para as referidas atividades.

Figura 20 – Fluxograma de definição dos requisitos dimensionais estéticos aprimorado



Fonte: elaborado pelo autor

Com relação a papéis e responsabilidades, a definição dos veículos concorrentes que servirão de referência para o atributo estético dimensional deve partir do time que representa as necessidades dos consumidores, assim como a compra do serviço de benchmarking. No entanto, o plano de medição dos veículos concorrentes deve ser definido em conjunto com o time dimensional, pelo fato deste deter o conhecimento específico de como medir cada interface.

Após a medição dos veículos concorrentes, é papel deste time, ainda, junto ao time de marketing, posicionar este atributo estético em relação aos concorrentes, para só então definir valores mensuráveis para cada requisito. Conforme apresentado na Literatura, existem classificações como (a) *best-in-class* (melhor da classe), (b) *among-the-leaders* (entre os líderes), entre outras, que vão direcionar o quanto melhor, pior ou igual a concorrência um determinado atributo deve ficar. Uma ferramenta apropriada para

demonstrar isso claramente para a engenharia é o Diagrama de Kano, conforme foi mencionado na Literatura. Isso tenta justificar, de uma maneira objetiva, os valores mensuráveis dos requisitos estéticos.

#### 4.4.2 Meta 02 – Analisar a viabilidade técnica dimensional dos conceitos de *design* do produto

- *Modo de Falha 03 – Não avaliar/validar o(s) conceito(s) de design em relação à sensibilidade devida à variação dimensional*

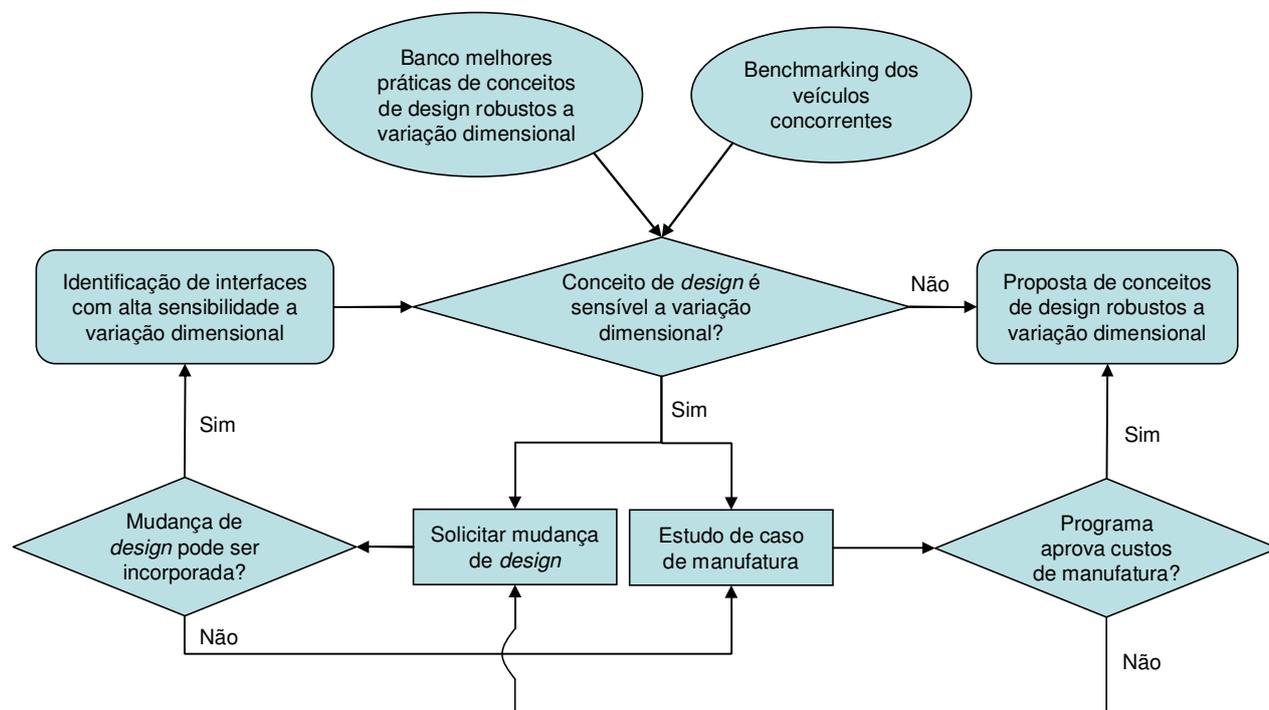
Apesar de estar inserida dentro da segunda meta ou objetivo-macro da gestão dimensional, esta é uma atividade que deve ser desenvolvida em paralelo com a definição dos requisitos dimensionais do produto, pois a definição dos requisitos e seus valores aceitáveis deve passar por uma análise da percepção dos mesmos pelos consumidores, conforme visto na Literatura. Ou seja, uma análise de sensibilidade pode (1) eliminar a necessidade de um requisito dimensional, no caso de se desenvolver um conceito de interface que "esconda" os efeitos da variação dimensional, ou (2) exigir requisitos dimensionais mais apertados, no caso de uma interface muito sensível à percepção do consumidor.

Conforme apresentado no Modelo de Análise, a causa deste modo de falha é devida à comunicação precária entre a manufatura e o desenvolvimento de produtos. Para que sejam consideradas as restrições de manufatura referentes à sensibilidade do consumidor ao *design*, a solução deve ser criar um processo de verificação de viabilidade dos conceitos de *design* que leve isso em consideração.

Sendo assim, o primeiro passo seria criar um banco de dados com os tipos de conceito de *design* que são de difícil execução de manufatura e, portanto, sensíveis à percepção de qualidade do consumidor. Ao lado de cada conceito desses, propor as recomendações de melhores práticas para eliminar este modo de falha. Este banco de dados deve ser um arquivo-vivo, que pode ser atualizado com o desenvolvimento de novos veículos, quando novas não-conformidades ocorressem devido a conceitos de *design* sensíveis ainda não identificados. Isso pode ser inserido nos *fóruns* de discussão

de viabilidade técnica dos temas de *design*, os quais já existem na companhia. O importante é que ao iniciar o programa de desenvolvimento de um novo produto, esse banco de dados seja verificado, e então certificado que o conceito de *design* é robusto aos problemas de sensibilidade identificados. Como se trata de uma análise bem preliminar no desenvolvimento de um novo produto, mudanças de *design* são fáceis de ser implementadas. No entanto, caso as mudanças solicitadas não sejam incorporadas no *design* devido a outros fatores quaisquer, no mínimo um estudo de caso deveria ser feito, para apresentar as necessidades e custos de manufatura para entregar o *design* exigido. Normalmente maiores investimentos serão solicitados e caberá ao chefe do desenvolvimento do produto decidir ou não pela aceitação do *design* proposto. Também é conveniente que todos os temas de *design* sejam verificados e que isso seja feito até a definição de um tema único, quando então serão definidos os requisitos e seus respectivos valores. Para ilustrar a proposta para esta sequência de atividades, apresenta-se a Figura 21.

Figura 21 – Fluxograma de análise de sensibilidade do conceito de *design* em relação à variação dimensional



Fonte: elaborado pelo autor

Em termos de papéis e responsabilidades, deve ser papel tanto do time de engenharia dimensional, quanto do time de manufatura, fazer a avaliação dos conceitos de *design*, assim como manter esse banco de dados vivo para todos os programas. Estes times devem submeter esta avaliação a um time multi-funcional, incluindo a participação da alta diretoria, que toma a decisão por mudanças de *design* ou investimentos em manufatura.

- *Modo de Falha 04 – Não avaliar/validar potenciais pré-requisitos para cumprir os requisitos dimensionais*

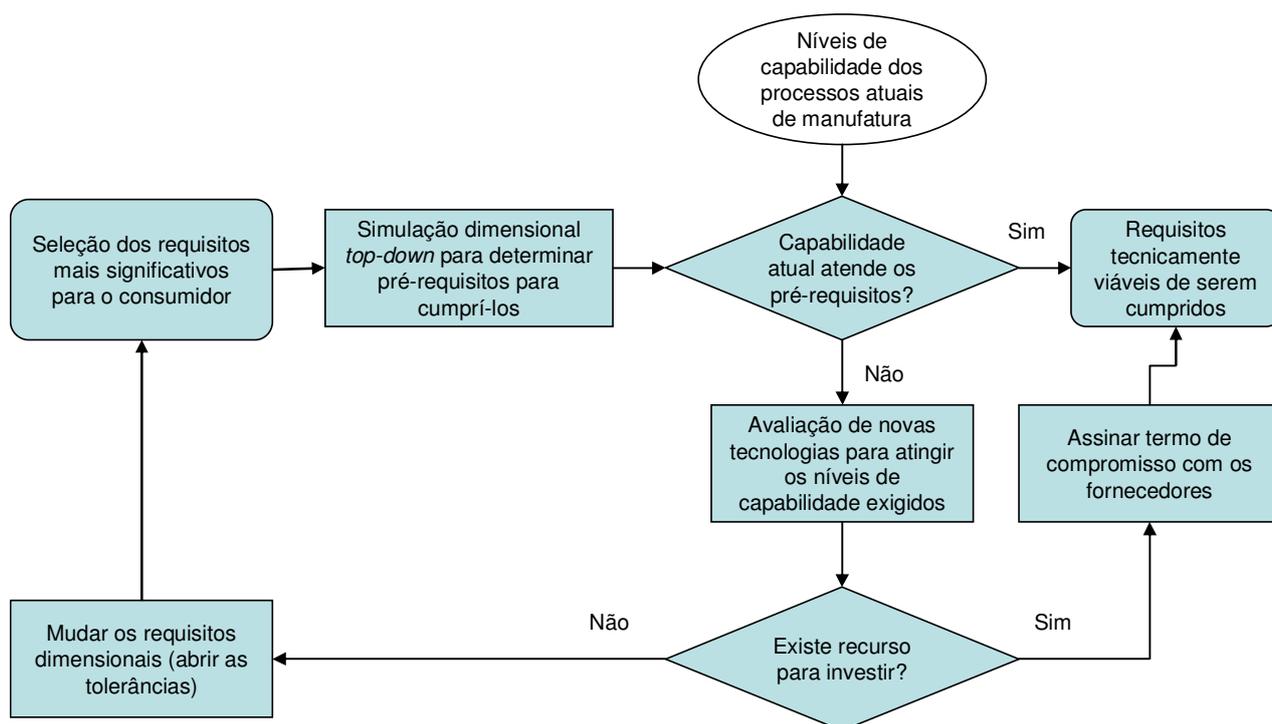
Da mesma forma que a análise de sensibilidade dos conceitos de *design* dá suporte à definição dos requisitos dimensionais, a determinação de melhores práticas para avaliação e validação dos pré-requisitos para cumprir estes requisitos dimensionais dará suporte à definição de suas especificações ou tolerâncias permissíveis. Como visto na Meta 01, a definição dos requisitos deve ser uma das primeiras atividades dentro do processo de gestão de desenvolvimento de produtos (incluindo o dimensional), pois proporcionará as diretrizes para os engenheiros desenvolverem um determinado produto. Além de especificar esses requisitos, deve-se determinar os meios para cumpri-los. Quando isso não é feito, ou os requisitos poderão sofrer mudanças, tornando-se mais abertos para serem passíveis de cumprimento, ou modificações tardias de projeto e processo poderão ser necessárias, a fim de criar novos meios para cumpri-los.

Observa-se no Modelo de Análise que as principais causas deste modo de falha são (1) a não consideração dos atuais níveis de capacidade dos processos de manufatura existentes na companhia, e (2) a não investigação dos níveis de capacidade dos novos processos a serem implementados (novas tecnologias), embora estas informações sejam de total conhecimento da manufatura local da companhia ou dos fornecedores. Elas ocorrem porque, no primeiro caso, o próprio time de manufatura entende que é melhor não disponibilizar estas informações, para evitar expor problemas internos de capacidade de processo, e, no segundo caso, porque estas informações não são cobradas dos fornecedores dos novos meios produtivos. Isso faz com que os

modelos de simulação dimensional, a serem criados nas próximas etapas, sejam totalmente teóricos e, muitas vezes, com baixa representatividade.

Para resolver estes problemas, será necessário estabelecer um processo para garantir a obtenção dessas informações maneira segura. No caso das informações de capacidade dos processos atuais de manufatura, como as mesmas já são coletadas pela companhia, precisa-se estabelecer como uma meta formal de entrega do time de manufatura nessa fase inicial do programa, a divulgação desses dados de capacidade. Com isso, o time de engenharia dimensional poderia avaliar de uma maneira *top-down*, ou seja, a partir da proposta dos requisitos, os pré-requisitos a cumprir, e então compará-los aos dados de capacidade, a fim de constatar se são passíveis de serem atendidos. Assim, consegue-se dar suporte à análise de viabilidade técnica, proporcionando uma diretriz para o restante do desenvolvimento do produto. Caso seja verificado que os níveis de capacidade atuais não são suficientes para atender os pré-requisitos, entende-se que (a) novos investimentos deverão ser feitos ou (b) deverão ser abertas as tolerâncias permissíveis dos requisitos, o que impacta negativamente na qualidade do produto (atributo de *Perceived Quality*). No caso de investimento em novas tecnologias, deve-se exigir comprovação de níveis de capacidade dos fornecedores, para então serem utilizados nessas simulações dimensionais preliminares, verificando-se se o investimento garante o cumprimento dos requisitos. Caso isso ocorra, esses níveis de capacidade devem servir de premissas no contrato com os fornecedores. Desse modo, propõe-se o fluxograma de atividades da Figura 22 para evitar este modo de falha.

Figura 22 – Fluxograma de análise dos pré-requisitos dimensionais



Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.4.3 Meta 03 – Constatar que o projeto, manufatura e processo de montagem otimizados atendem os requisitos dimensionais do produto

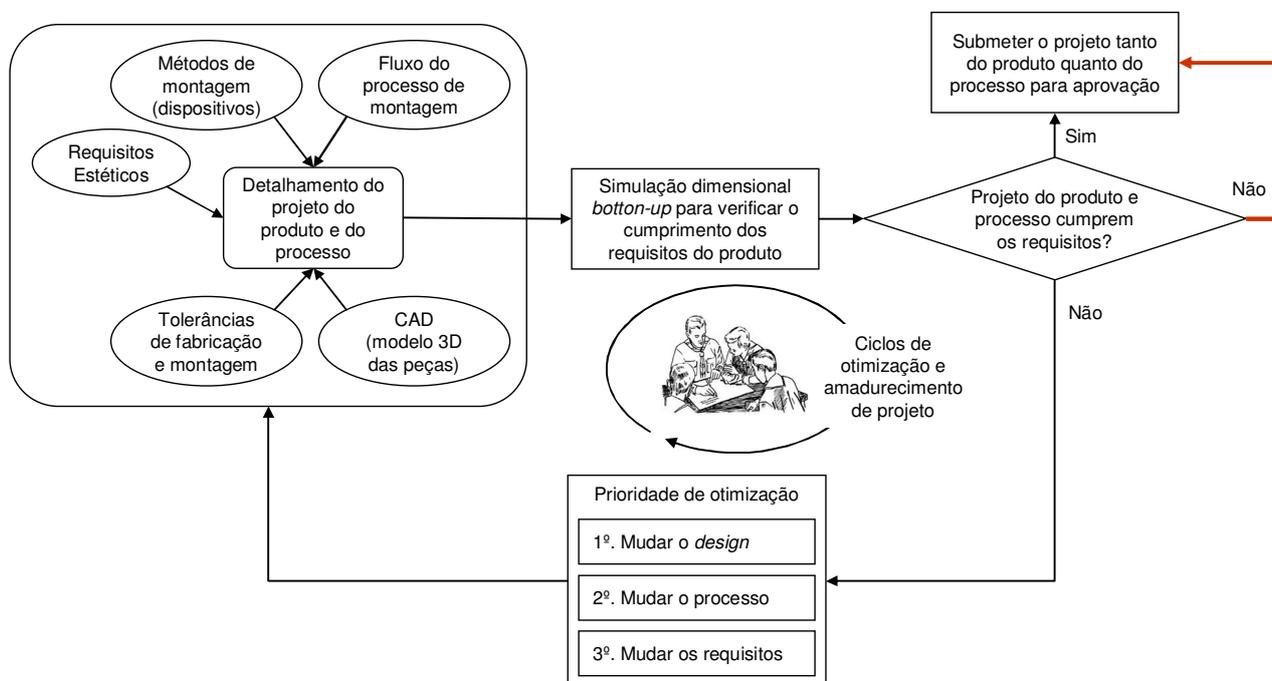
- *Modo de Falha 05 – Aprovar o projeto sem cumprir determinados requisitos dimensionais*

Conforme apresentado no Modelo de Análise, este modo de falha é causado por dois motivos: (1) não definir os requisitos e (2) submeter o projeto para aprovação sem comprovar que os requisitos foram cumpridos. Como a causa (1) foi discutida no Modo de Falha 01, será apresentada a proposta de aprimoramento de práticas para eliminar a causa (2).

Para isso, precisa-se conhecer o fluxo de atividades atual da companhia, desde o recebimento de informações de entrada para a construção dos modelos de simulação dimensional, até a verificação dos requisitos a serem cumpridos, para então liberar o projeto para fabricação dos protótipos. A Figura 23 apresenta o fluxograma atual de

atividades para os requisitos estéticos, ressaltando-se que não existe na companhia uma sequência de atividades formal para verificação dos requisitos funcionais.

Figura 23 – Fluxograma atual da companhia para aprovação do cumprimento de requisitos estéticos



Fonte: elaborado pelo autor

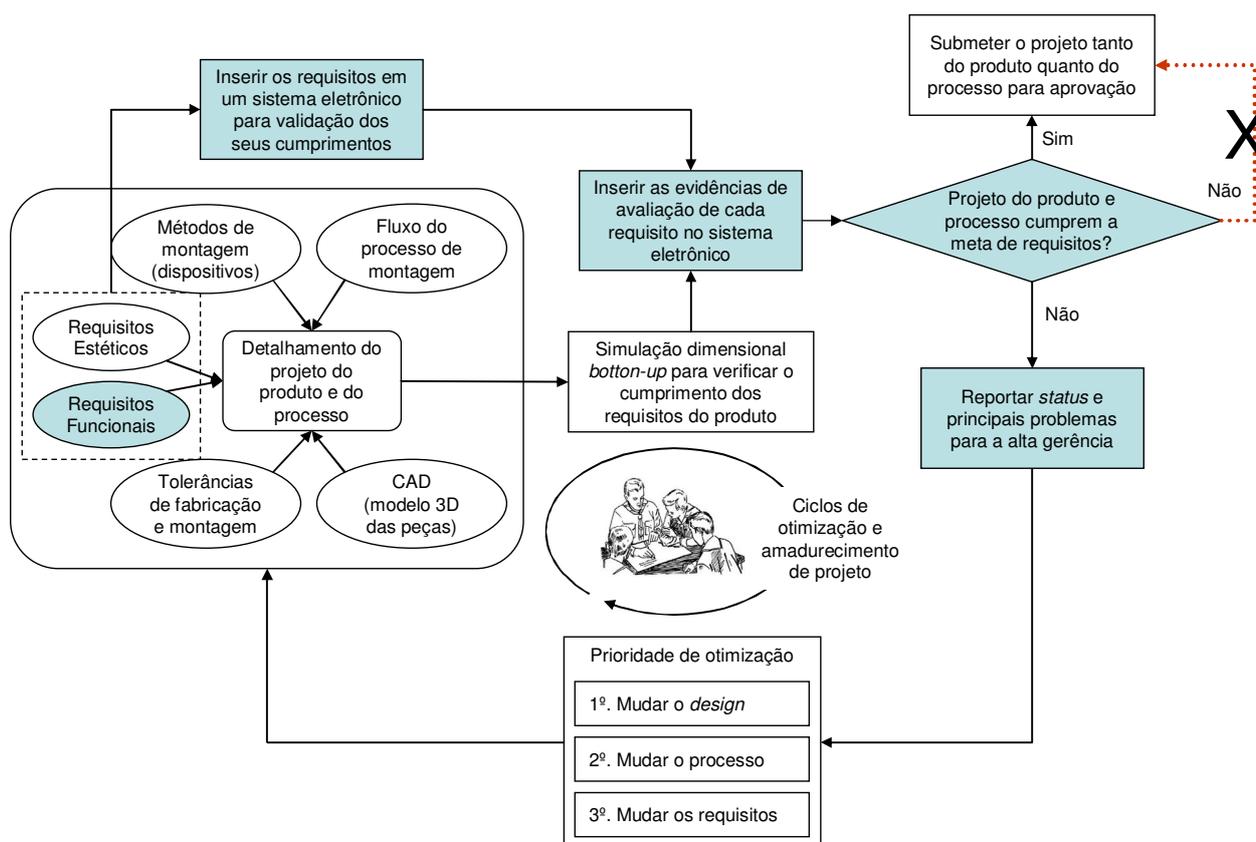
Resumidamente, tem-se a seguinte sequência: a primeira etapa consiste em coletar todas as informações necessárias para a construção do modelo de simulação dimensional. Conforme visto na Literatura, dentre essas informações têm-se as intenções de projeto (modelo 3D das peças – CAD, localizadores e tolerâncias); as intenções de manufatura (fluxo e conceito dos dispositivos de montagem); e os requisitos estéticos do produto. Com isso, constroem-se os modelos de simulação dimensional e geram-se relatórios demonstrando a capacidade do projeto/processo em cumprir os requisitos. Aqueles que não podem ser cumpridos, são submetidos a ciclos de otimização, seguindo uma ordem de, primeiro esgotar todas as possibilidades de mudança de projeto, em seguida de processo, e caso não haja nenhuma possibilidade de mudança, alterar-se o requisito, abrindo sua tolerância especificada. Quando os requisitos podem ser cumpridos, o projeto é submetido para liberação. O ponto falho que acontece neste processo é que, mesmo constatando-se que alguns requisitos não podem ser cumpridos, ainda assim o projeto é submetido para liberação, conforme destacado pela seta em

"vermelho" na Figura 23. É neste ponto que se concentra a proposta de aprimoramento de práticas para eliminar este modo de falha.

Observa-se também que na companhia o cumprimento de outros requisitos veiculares (não dimensionais) é controlado por um sistema eletrônico (por exemplo, um banco de dados publicado em um *site*), onde os requisitos são inseridos no início do programa, e a validação só pode ser feita através de evidências anexadas ao sistema, que demonstrem a capacidade do projeto e/ou processo em cumprir os requisitos. O *status* de cumprimento desses requisitos é reportado automaticamente pelo referido sistema para a alta gestão da companhia. Neste ponto ainda pode haver metas a serem cumpridas conforme a maturidade do projeto, por exemplo, 50% cumprido numa fase inicial de detalhamento do projeto, 80% numa fase intermediária e 100% quando o projeto estiver totalmente detalhado. Se estas metas não são cumpridas em cada fase, o desenvolvimento não segue adiante, forçando aos times de engenharia a desenvolverem soluções para cumpri-las.

A proposta de aprimoramento de práticas para evitar que projetos sejam submetidos a aprovação sem a comprovação de que todos os requisitos tenham sido cumpridos, aproveitaria a mesma estrutura. Ou seja, os requisitos dimensionais, tanto estéticos quanto funcionais, neste mesmo sistema seriam inseridos, definindo-se metas a serem cumpridas em cada fase e fazendo-se toda a verificação do projeto/processo através do sistema (Figura 24). Este sistema seria utilizado para gerar relatórios apresentando o progresso do cumprimento dos requisitos conforme a cadência estipulada. Com isso, o fluxograma de atividades sugerido apresentaria a configuração da Figura 24.

Figura 24 – Fluxograma proposto para companhia para aprovação do cumprimento de requisitos estéticos



Fonte: elaborado pelo autor

Em termos de papéis e responsabilidades, propõe-se designar ao time de Engenharia Dimensional carregar os requisitos dimensionais para o sistema, fazer as avaliações e reportar o progresso para a alta gestão da companhia. Da mesma forma, também deve-se promover as revisões com os demais times de engenharia e manufatura, para otimizar o projeto e o processo.

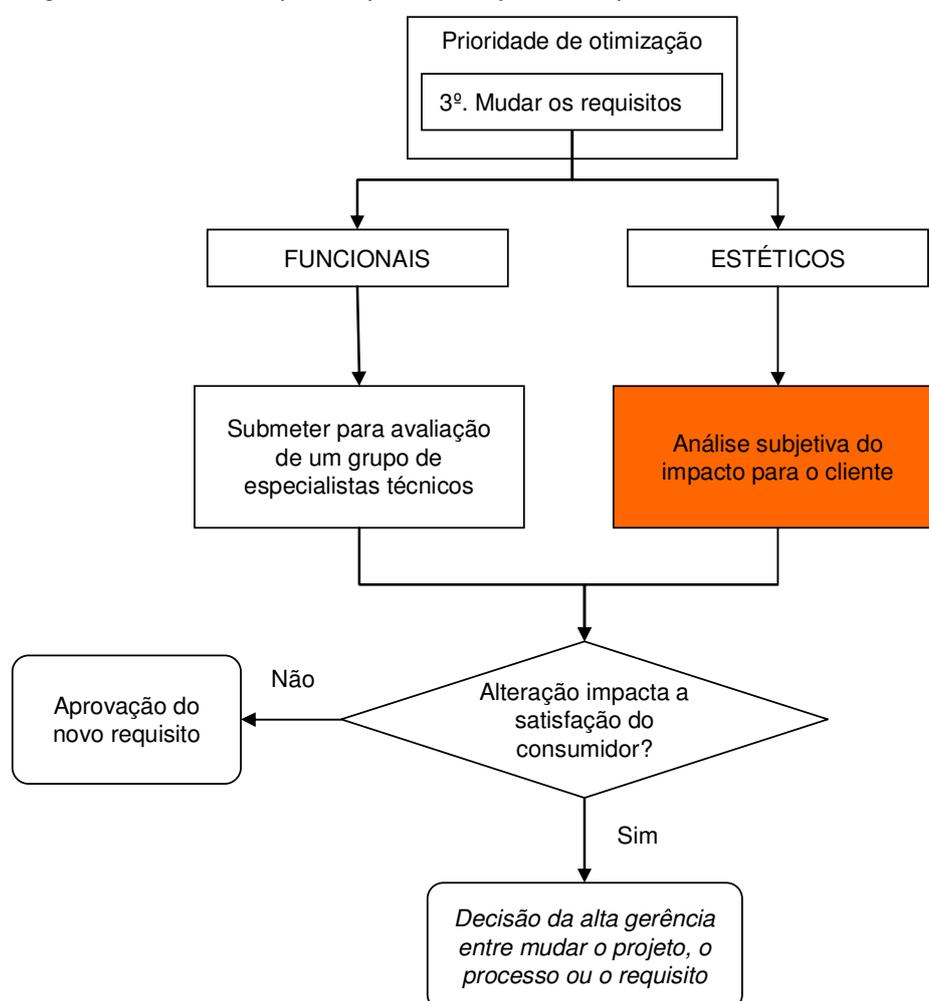
Dessa forma, assegura-se a avaliação de todos os requisitos de uma maneira formal dentro do desenvolvimento do produto.

- *Modo de Falha 06 – Mudar os requisitos sem avaliar o impacto para o consumidor*

Este modo de falha é uma particularidade em relação aos requisitos dimensionais, pois, quando os requisitos funcionais são definidos e designados para serem cumpridos, eles são considerados com mais atenção do que os estéticos. Ou seja, o cumprimento

dos requisitos funcionais é efetivamente cobrado e, caso não seja possível cumpri-los, eventuais modificações na especificação do requisito devem ser submetidas à avaliação de um grupo de especialistas, o qual executará testes para avaliar o impacto da modificação para o consumidor. Se o mesmo não for significativo, o grupo aprova a mudança. No caso dos requisitos estéticos, apenas uma análise subjetiva de impacto é feita, pois conforme foi visto na proposta de aprimoramento de práticas para o Modo de Falha 02, não era feita qualquer pesquisa de mercado para dimensionar estes requisitos, seguindo-se apenas uma diretriz global, sem avaliação de sua aplicabilidade. O fluxo de atividades atual é apresentado na Figura 25.

Figura 25 – Fluxograma atual da companhia para alteração de requisitos dimensionais

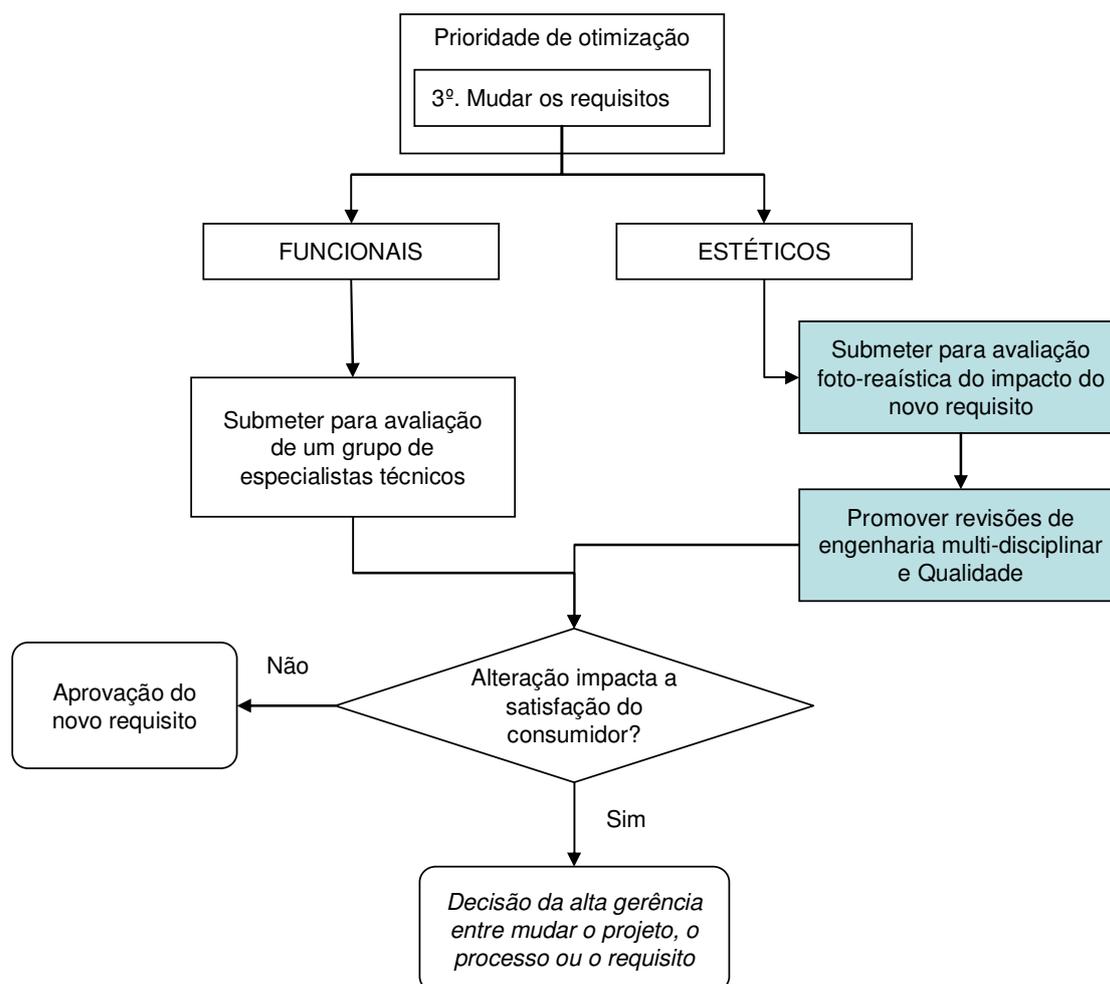


Fonte: elaborado pelo autor

A caixa "análise subjetiva do impacto para o cliente" foi destacada em vermelho pois é onde devem-se concentrar as propostas de aprimoramento de práticas. Primeiramente, vale ressaltar que a implementação das práticas propostas para o Modo de Falha 02, já tende a reduzir bastante a ocorrência de uma análise "subjetiva" para alterar qualquer requisito. Segundo, mesmo que com tudo isso feito, ainda assim a análise de impacto para o consumidor não seja muito clara, a melhor recomendação, hoje, é implementar análises de simulação foto-realísticas, para avaliar a percepção de qualidade (*Perceived Quality*) do consumidor para as modificações de requisito. Conforme visto na Literatura, este tipo de análise utiliza as saídas do modelo de simulação dimensional, ou seja, as variações dimensionais de folga e nivelamento, importa estes dados para um outro *software* que tem a capacidade de tornar as imagens extremamente realísticas (aplicando cores, texturas e iluminação real) e, com isso, é capaz de simular como o veículo é esperado no final da linha de montagem, com todas as variações de processo. São gerados vídeos e imagens que devem ser utilizados numa revisão de engenharia multi-disciplinar (simultânea), onde os times que avaliam a qualidade dos protótipos devem participar e aprovar, ou não, o novo requisito proposto. Existem recursos que podem aumentar ainda mais a representação realística desses *softwares*, tais como geração de imagens 3D, sensores de toque e movimento, e salas de projeção em tamanho real 3D. Obviamente, o custo de uma infra-estrutura como essa é alto. No entanto, uma empresa que pretende competir num mercado globalizado, com clientes cada vez mais exigentes, deve considerar adotar estes sistemas adicionais. O tempo gasto e os custos para corrigir não-conformidades decorrentes deste modo de falha justificam o investimento. A Figura 26 apresenta o fluxograma de atividades proposto para evitar este modo de falha.

Em termos de papéis e responsabilidades, cabe ao time de Engenharia Dimensional gerar as simulações foto-realísticas, já que ele detém o modelo de simulação dimensional que fornece as informações de entrada. No entanto, a construção de modelos foto-realísticos, ou seja, a aplicação de cores e materiais representativos, deve ser feito pelo time responsável pelo *design* e estilo do veículo. Já a avaliação deve ser submetida a um julgamento multifuncional, promovendo a prática de engenharia simultânea.

Figura 26 – Fluxograma proposto para alteração de requisitos estéticos



Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.4.4 Meta 04 – Assegurar que a documentação dimensional do produto esteja correta

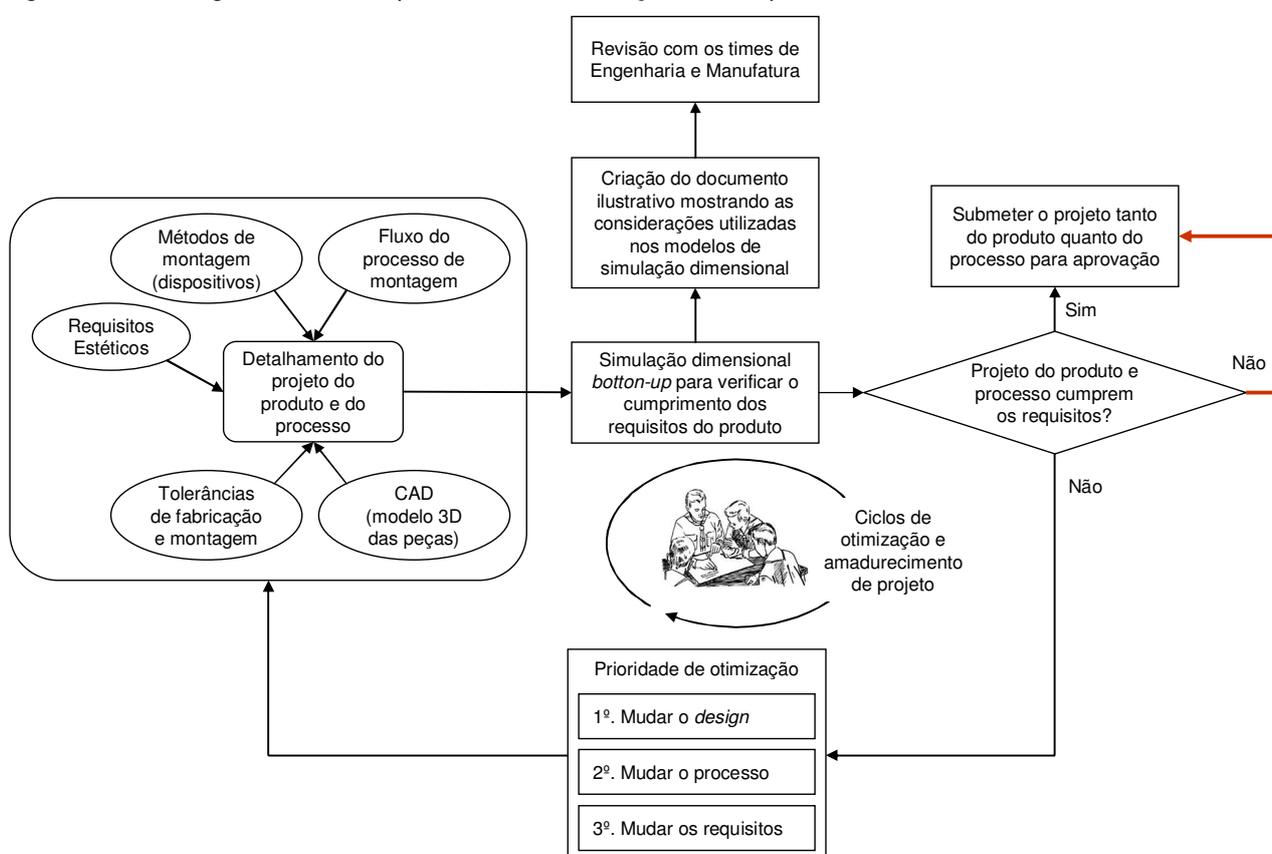
- *Modos de Falha 07 e 08 – Liberar projetos de peças e métodos de montagem sem seguir as considerações feitas nas análises de simulação dimensional*

As propostas de aprimoramento de práticas para eliminar estes dois modos de falha serão tratadas juntas, pois, como visto no Modelo de Análise, a causa dos dois é a mesma: falha de comunicação. Seria contraproducente formar uma equipe e dedicar tempo e recurso para fazer simulações de análises dimensionais se, no momento em que se submetem-se os projetos para aprovação/liberação, as considerações utilizadas para

construir o modelo não são implementadas. Esta falha de comunicação pode levar a diversos tipos de não-conformidades, conforme apresentado no Modelo de Análise.

Para tentar conter esses problemas de comunicação, já existe hoje na Alfa Motors um documento que visa divulgar todas as considerações de intenções de projeto e processo utilizadas para construir o modelo dimensional. Citam-se, como exemplo, as tolerâncias de fabricação e de montagem com as suas referências (localizadores), ou seja, GD&T, e sequência e meios/métodos de montagem, conforme visto na Literatura. O referido documento consolida as entradas dos diversos times envolvidos com o desenvolvimento do projeto do produto (Engenharia e Manufatura), assim como é utilizado para ilustrar as propostas de otimização. Enquanto o projeto do produto e do processo vão ganhando maturidade, este documento também vai sendo atualizado e revisado ao longo da fase de Projeto Detalhado, até o cumprimento dos requisitos dimensionais do produto. A Figura 27 mostra como estas atividades estão inseridas, hoje, no fluxograma de verificação dos requisitos dimensionais.

Figura 27 – Fluxograma atual do processo de verificação dos requisitos dimensionais



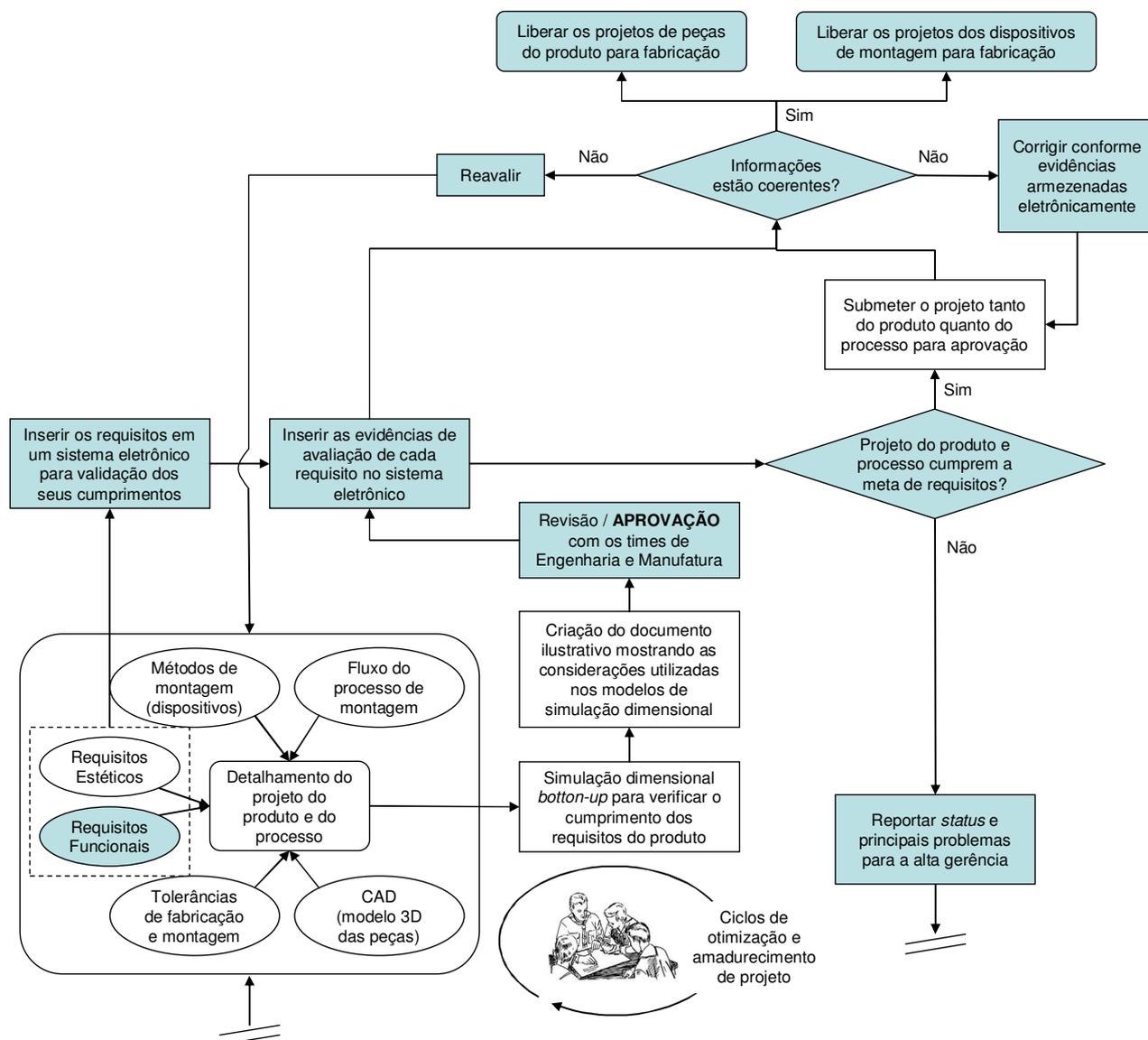
Fonte: elaborado pelo autor

Percebe-se uma descontinuidade nas informações do mencionado fluxo (Figura 27), ou seja, a revisão com os times de Engenharia e Manufatura não se conecta com nenhuma outra atividade. É neste ponto que está o problema que leva à ocorrência do modo de falha em questão. Na maioria das vezes, mesmo sendo feito todo o trabalho de alinhamento, simplesmente os conceitos contidos no documento que alimentará o modelo dimensional não são implementados no projeto, e este é submetido para aprovação/liberação sem estas considerações. Basicamente isso ocorre porque este documento não é uma entrega oficial no processo de desenvolvimento de produtos na Alfa Motors, o que dá margem para a engenharia e a manufatura não seguirem uma determinada recomendação, quando um outro motivo qualquer exige uma alteração no projeto.

Sendo assim, o que precisa ser feito é oficializar o referido documento, exigindo-se a aprovação das partes envolvidas, e utilizando o mesmo como evidência das soluções de *design*/processo para cumprimento dos requisitos. Conforme a proposta de aprimoramento de práticas para o Modo de Falha 05, estas evidências também seriam inseridas no mesmo sistema eletrônico, assegurando que, no caso da impossibilidade de implementação, no mínimo seja solicitada uma nova análise para avaliação da nova configuração do projeto que se pretende liberar. Além disso, deve ser feita uma verificação final de compatibilidade do projeto com este documento, no momento em que os projetos são submetidos para aprovação/liberação, assegurando, assim, que a documentação dimensional do produto esteja correta, que é a proposta da Meta 04 da gestão dimensional. A Figura 28 apresenta a sequência aprimorada de atividades no fluxograma proposto para aprovação do cumprimento dos requisitos.

Em termos de papéis e responsabilidades, a verificação de coerência dos projetos submetidos ao processo de liberação, quanto às informações contidas no documento de consolidação dos conceitos de projeto e processo, ficaria a cargo do time de Engenharia Dimensional.

Figura 28 – Proposta de integração da atividade de liberação de projetos com a verificação das considerações utilizadas nos modelos dimensionais



Fonte: elaborado pelo autor

- *Modo de Falha 09 – Criar Planos de Medição incompatíveis com as saídas das simulações dimensionais*

Assim como os modos de falha 07 e 08, este também é um exemplo de má utilização do potencial dos modelos de simulação dimensional. Conforme visto no Capítulo 2 – Revisão da Literatura (Tópico 2.2.2.3 – Projeto Detalhado), um dos principais benefícios deste tipo de trabalho é apresentar gráficos com os principais contribuidores

para a variação dimensional de um determinado requisito do produto. Estes contribuidores nada mais são do que as características significativas do produto que precisam ser controladas a fim de atender estes requisitos. Sendo assim, elas precisam ser transcritas para os Planos de Medição e, quando não o são, novamente o tempo e recurso gastos com este trabalho acabam não sendo totalmente aproveitados. Não só a determinação destas características pode ser obtida através dos modelos, mas também as tolerâncias permissíveis para cada uma delas.

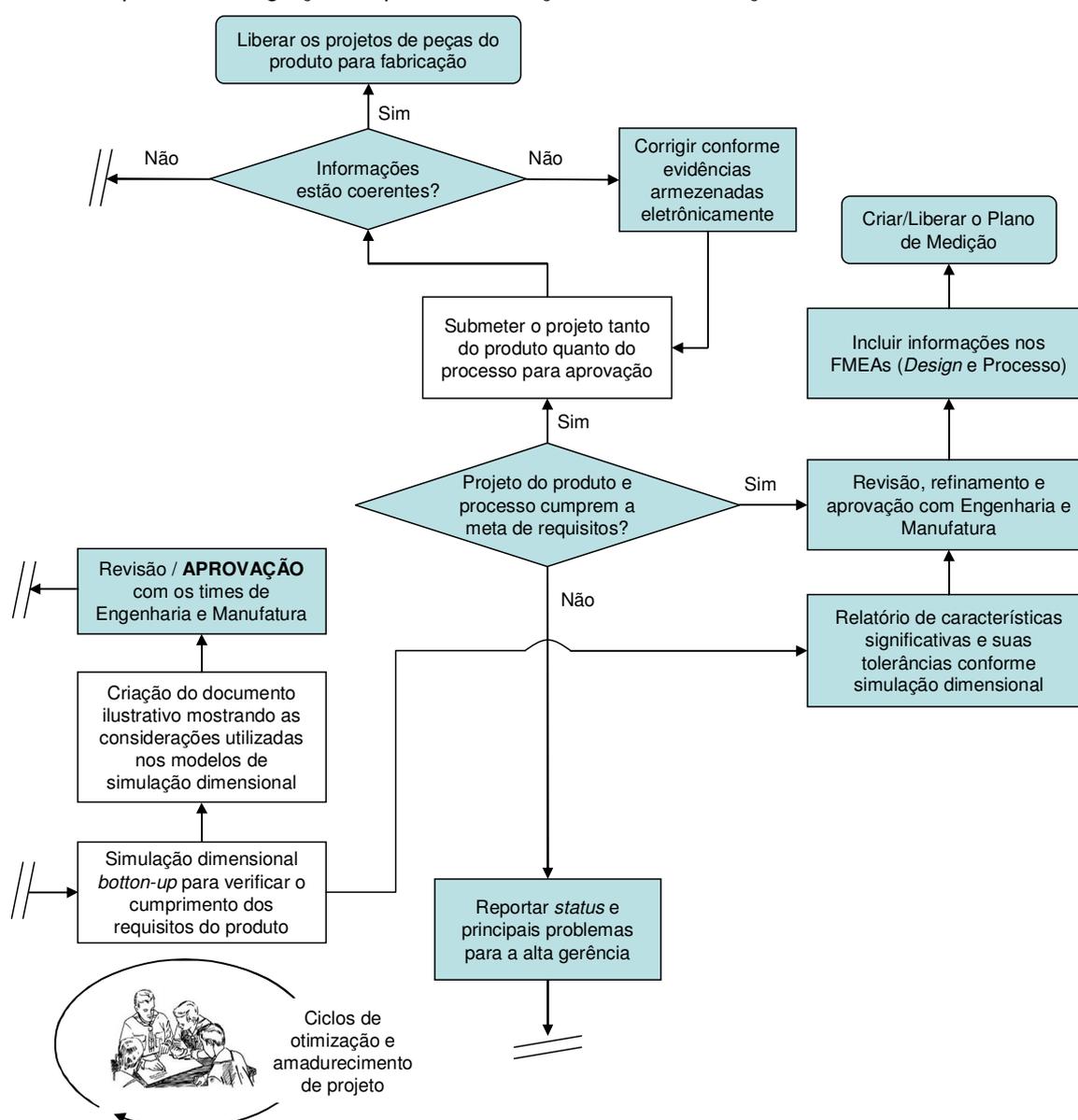
A situação atual da companhia é exatamente a descrita acima: a criação dos planos de medição nem sequer considera as saídas desses modelos. Ao invés disso, são feitas cópias de planos de medição de produtos similares anteriores, onde não só os pontos de controle são copiados, mas também as tolerâncias permissíveis de cada um deles. Ou seja, estes planos de controle permanecem os mesmos há mais de 10 anos, o que retarda o desenvolvimento tecnológico e melhorias de qualidade nos processos de montagem. Da mesma forma, os FMEAs também são copiados e não são utilizados para alimentar esses planos de medição. Como o fluxograma de atividades atual não apresenta conexão alguma com o trabalho de gestão dimensional na companhia, dispensou-se a sua apresentação neste texto.

Para a proposta de práticas de aprimoramento, novamente deve-se voltar à Literatura, e inserir as atividades lá apresentadas no fluxograma de gestão dimensional criado até então para a fase de Projeto Detalhado (Figura 28).

Sendo assim, o primeiro passo é a identificação das características significativas e suas tolerâncias, a partir dos modelos de simulação dimensional. Esta é uma atividade que deve ser conduzida pelo time de Engenharia Dimensional, que fica encarregado de gerar um relatório ilustrativo destas informações. Em seguida, deve-se publicar este relatório e revisá-lo com os principais envolvidos, ou seja, os times de Engenharia de Projetos e Manufatura. Nesta revisão, algumas características podem ser removidas ou acrescentadas e suas tolerâncias permitidas podem ser refinadas. Obtido este alinhamento, a Engenharia de Projetos deve alimentar seus DFMEAs (FMEAs de Projeto) a partir destas informações, sendo que estes irão alimentar os PFMEAs (FMEAs de Produção), os quais são criados pela Manufatura. A partir dos PFMEAs criam-se os Planos de Medição e garante-se assim a comunicação (fluxo de informações) desde o trabalho de simulação dimensional. Isso assegura a criação de Planos de Medição

robustos e eficazes, para antecipar a ocorrência de não-conformidades, reduzindo desperdício e tempo de reação, além de utilizar o potencial dos modelos de simulação dimensional em sua plenitude. O fluxograma de atividades proposto é retratado na Figura 29.

Figura 29 – Proposta de integração do plano de medição com as simulações dimensionais



Fonte: elaborado pelo autor

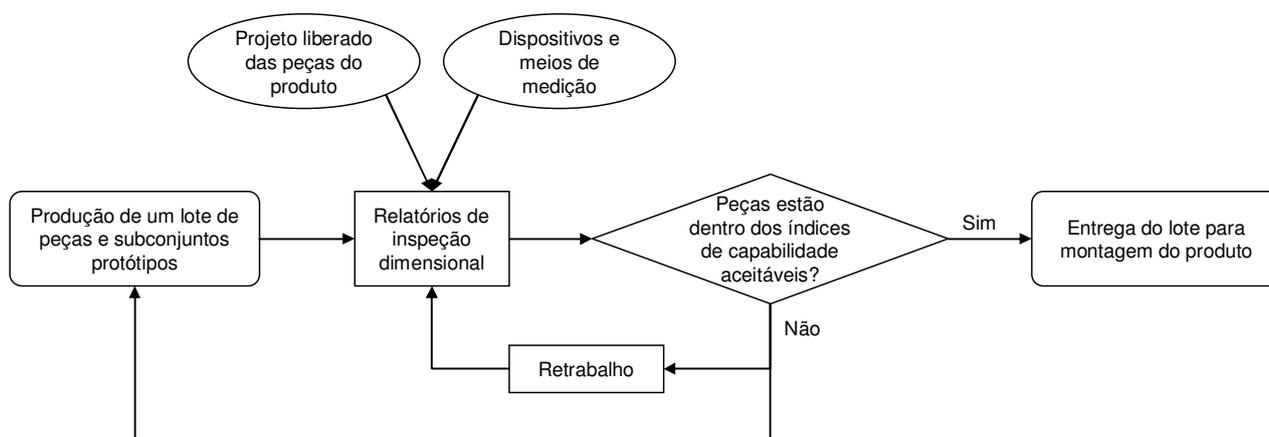
#### 4.4.5 Meta 05 – Validar os requisitos dimensionais do produto com protótipos através do plano de medição

- *Modo de Falha 10 – Validação dimensional inadequada de peças e subconjuntos (end-items)*

Conforme apresentado no Modelo de Análise, este modo de falha tem duas causas mais significativas: (1) aprovação/liberação de desenhos inconsistentes com as simulações dimensionais, e (2) concepção dos dispositivos de aferição dimensional não funcionais. Essas duas causas permitem a aprovação de peças ruins e/ou reprovação de peças boas. Sendo assim, analisando-se a companhia em questão, o fluxo, em si, do processo de validação dimensional de peças e subconjuntos não está inadequado, o problema são as informações (desenhos ou meios de medição) usadas para fazer esta validação.

Para entender como funciona este processo atualmente, tem-se que os fornecedores ou mesmo as áreas de fabricação da própria companhia, ao produzirem os componentes e subconjuntos, fazem sua inspeção dimensional e emitem relatórios comprovando a capacidade dos processos. Estes relatórios são baseados em tolerâncias estabelecidas nos desenhos dos projetos liberados (por isso a importância de se fazer esta liberação conforme simulações dimensionais). Da mesma forma, os meios ou dispositivos de medição devem seguir as especificações de localizadores (*datums*) também conforme estes desenhos. Feito isso, os lotes de peças protótipo são aceitos ou não, de acordo com os níveis de capacidade apresentados nestes relatórios. Uma equipe de suporte acompanha todo este processo de validação dimensional. A Figura 30 ilustra este fluxo de atividades.

Figura 30 – Fluxograma do processo atual de inspeção e validação dimensional de peças e subconjuntos (*end-items*)



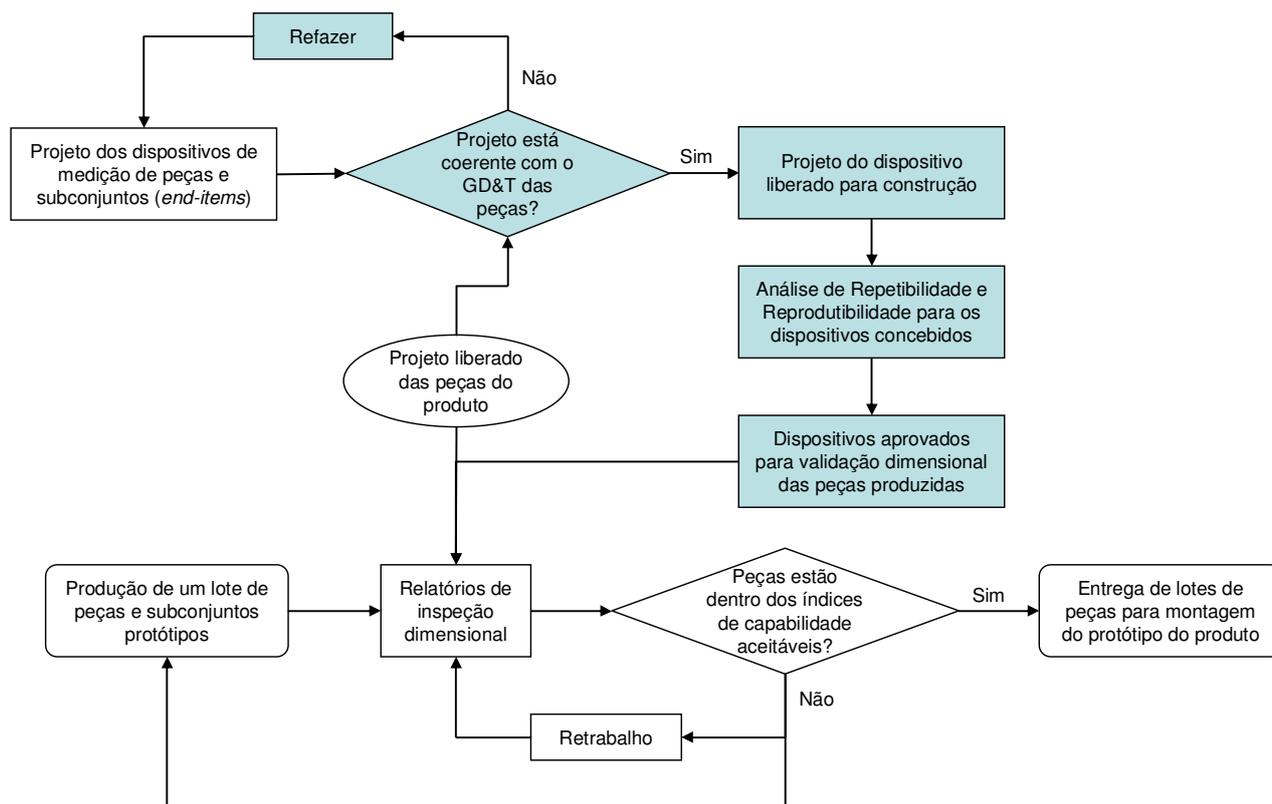
Fonte: elaborado pelo autor

Percebe-se, através deste fluxograma, o quão dependente este processo é da liberação correta dos projetos das peças, assim como da correta concepção dos dispositivos de medição. Assumindo-se que o fluxograma de atividades proposto no Modo de Falha 07 será seguido, elimina-se a causa relacionada a liberação dos projetos das peças. Com relação aos dispositivos e meios de medição, é este ponto que precisa ser melhorado para eliminar-se este modo de falha.

Conforme visto na Literatura, estes dispositivos devem simular exatamente a condição pelas quais as peças serão submetidas no processo de montagem do produto, ou seja, eles devem ser funcionais. Como o GD&T é a linguagem que representa a funcionalidade das peças, o projeto destes dispositivos deve seguir as mesmas especificações de GD&T de suas respectivas peças. Sendo assim, para evitar este modo de falha é necessário criar um processo de verificação e aprovação dos projetos desses dispositivos, pois conforme visto no modo de falha, o fornecedor pode acrescentar pontos de sujeição, a fim de aumentar o percentual de peças aprovadas, ou seja, aprovar peças ruins. A utilização dos projetos das peças para construir os dispositivos é um processo normal em todas as montadoras, pois seria impossível concebê-los sem essas informações. A proposta para melhorar a robustez destes dispositivos consiste em acrescentar uma atividade de verificação e aprovação dos projetos dos mesmos, com a participação do time de Engenharia Dimensional. Além disso, após concebidos, fazer a validação de Repetibilidade e Reprodutibilidade, conforme proposto na Literatura, onde seria verificada a capacidade do fornecedor em entregar as peças dentro das tolerâncias

permissíveis de projeto. Dessa forma, seria possível assegurar que a validação dimensional de peças e subconjuntos é representativa e qualquer não-conformidade poderia ser identificada. O fluxograma de atividades já com a melhoria proposta pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 – Fluxograma proposto para inspeção e validação dimensional de peças e subconjuntos (*end-items*)



Fonte: elaborado pelo autor

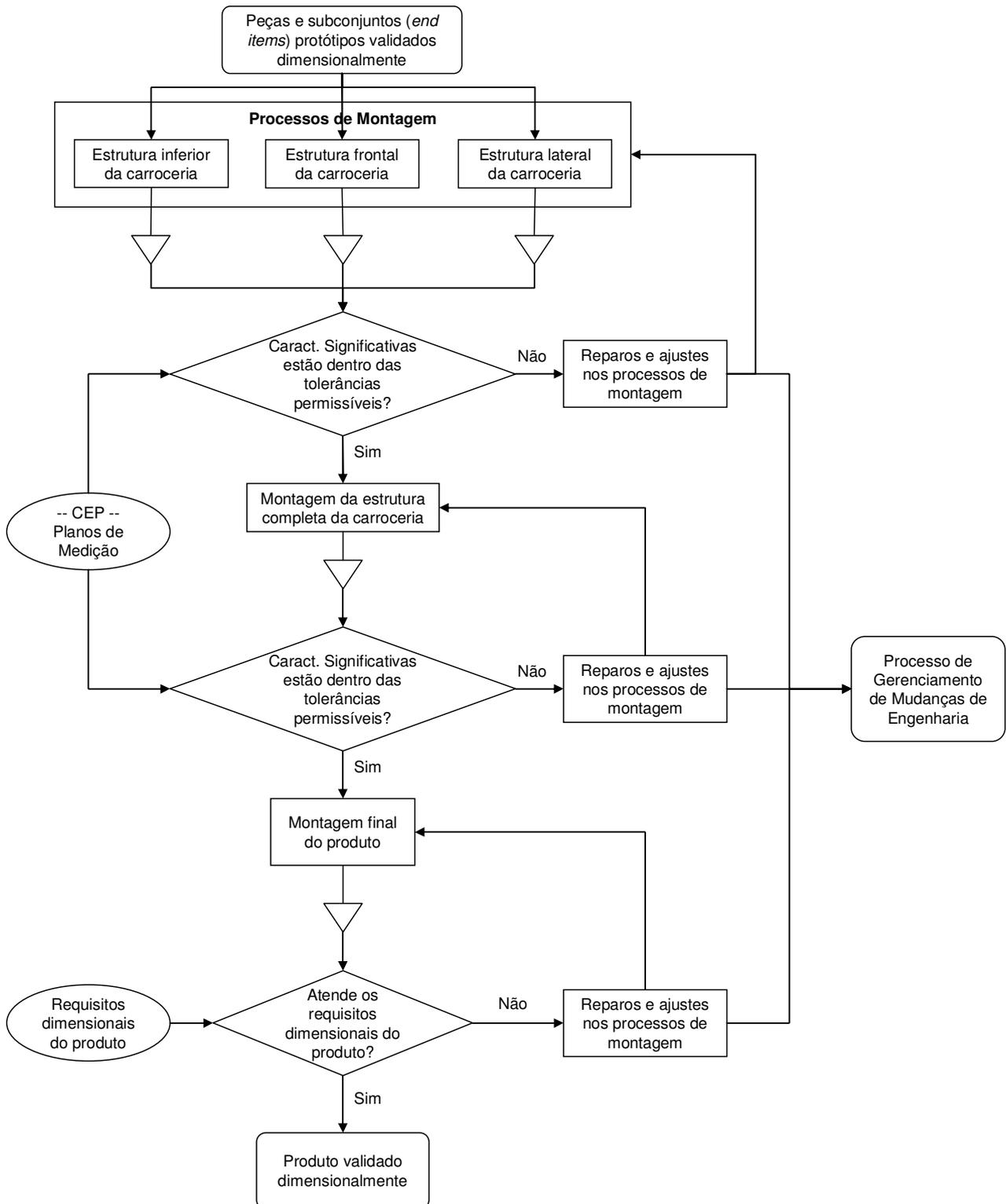
- *Modo de Falha 11 – Controle dimensional inadequado durante a montagem do produto*

Conforme apresentado no Modelo de Análise, a proposta de melhorias para evitar este modo de falha está totalmente alinhada com as do Modo de Falha 09, pois a sua principal causa está em criar Planos de Medição não compatíveis com as características significativas e suas tolerâncias permissíveis, conforme identificado nos modelos de simulação dimensional.

O processo da companhia, que se inicia com o recebimento de um lote de peças e subconjuntos (*end-items*) já validados dimensionalmente, para então executar a montagem do produto, é feito conforme o recomendado e seguido na maioria das companhias manufatureiras, onde em algumas etapas-chave deste processo são feitos controles dimensionais, a fim de assegurar que as etapas preliminares de montagem estejam atendendo os níveis de capacidade adequados. Desta forma, é possível antecipar a ocorrência de não-conformidades, através de análises gráficas de pontos de medição (características significativas), em que se observam tendências destes pontos saírem do controle dimensional. Caso se verifiquem estas tendências de não-conformidades, devem ser tomadas ações de reparo ou ajustes nos processos de montagem, quando possível e, caso não o seja, devem ser tomadas ações corretivas no projeto, por meio de um processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia, conforme visto na Literatura.

É de fundamental importância o envolvimento do time de Engenharia Dimensional em todo este processo, a fim de (1) executar constantes verificações da capacidade do processo *versus* variação prevista nos modelos dimensionais, (2) identificar as causas-raízes para reparos e ajustes nos processos de montagem a partir da análise dos modelos dimensionais e, (3) identificar as causas-raízes para correções de erros de Projeto, também a partir de análise dos modelos dimensionais. Estas intervenções são realizadas com o suporte das práticas do Controle Estatístico de Processo (CEP), conforme proposto na Literatura. Com isso, constata-se a importância de criar Planos de Medição robustos, alinhados com os modelos de simulação dimensional. Quando estes são feitos equivocadamente, todo o controle dimensional é feito erroneamente; as não-conformidades acabam aparecendo e, muitas vezes, suas causas-raízes não são identificadas, degradando-se a qualidade do produto. A Figura 32 apresenta o fluxograma dessas atividades, onde a única fragilidade no processo atual da companhia é o não envolvimento do time de Engenharia Dimensional em todo este processo. Ao invés disso, atualmente este envolvimento é feito sob demanda, o que impossibilita uma resposta rápida sobre o problema.

Figura 32 – Fluxograma de validação dimensional do produto



Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.4.6 Meta 06 – Validar a capacidade do processo de manufatura conforme intenções de projeto

- *Modo de Falha 12 – Não validar o modelo dimensional em relação ao processo de montagem*

Este é um modo de falha crítico que deve ser eliminado, a fim de evitar a ocorrência de não-conformidades devidas a condições não analisadas no desenvolvimento do projeto. Como estas atividades se encontram no final do processo de desenvolvimento do produto, a possibilidade de uma não-conformidade chegar ao consumidor é bem alta. Por isso, é de fundamental importância a validação do modelo em relação ao processo de montagem, analisando-se o impacto de mudanças que acabam sendo inevitáveis, e também para validar a capacidade de processo conforme esperado nos modelos de simulação dimensional.

Assim como ocorrem para o modo de falha anterior, percebe-se na companhia que também estes tipos de análises só são feitas sob demanda (quando solicitadas). Ou seja, conforme uma não-conformidade aconteça, caso alguém conclua que a causa do problema pode ter relação com as variações dimensionais, é solicitada uma análise do time de Engenharia Dimensional. É fácil notar que esse procedimento de trabalho primeiro pode permitir que algumas não-conformidades não cheguem sequer ao conhecimento da Engenharia Dimensional e, segundo, que o tempo de reação também acaba sendo bastante longo. Estes fatores propiciam ações de contenção sem suficiente embasamento, as quais acabam "mascarando" o problema, que pode voltar a ocorrer quando o produto estiver no mercado, causando insatisfação dos consumidores, reclamações, gastos com garantia e perda de confiabilidade com a marca.

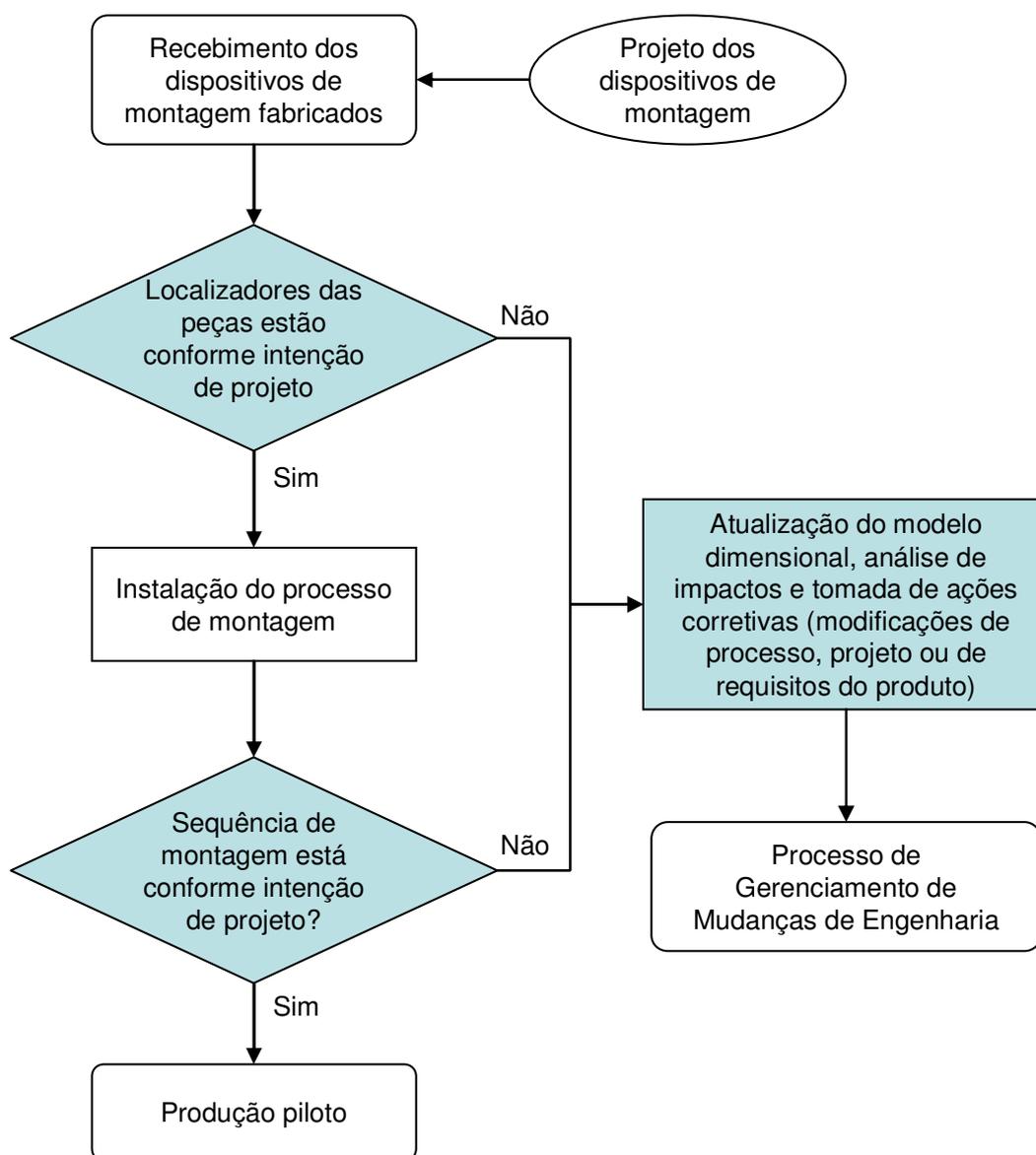
Sendo assim, a proposta aqui apresentada é a de estender a continuidade do trabalho da Engenharia Dimensional até o lançamento do produto. Isso quer dizer que, conforme proposto na Literatura, enquanto a companhia inicia o recebimento dos seus dispositivos de montagem e estes começam a ser instalados, o time Dimensional deve fazer a verificação dos localizadores e da sequência de montagem, validando o modelo dimensional. Com isso, para qualquer pequena modificação deve ser feita uma re-análise, para verificar se os requisitos dimensionais do produto ainda podem ser cumpridos. Caso

não o possam, devem ser providenciadas melhorias de processo ou então voltar-se para a condição de projeto ou, em último caso, alterar os requisitos do produto. Todas essas opções devem também seguir um processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia, conforme apresentado na Literatura, para assegurar que todas as áreas afetadas avaliem a mudança solicitada e que não ocorram novos problemas.

Com o novo processo de montagem instalado, inicia-se a Produção Piloto. O trabalho, agora, será em torno da validação de capacidade do processo, a qual deve seguir o Plano de Medição estabelecido e, por intermédio do Controle Estatístico de Processo (CEP), verificar-se a capacidade para cada característica significativa, conforme o modelo de simulação dimensional. Estas atividades são as mesmas apresentadas na Figura 32 (fluxograma de validação dimensional do produto), no entanto, o objetivo agora é a validação de capacidade do processo com os meios/métodos de montagem definitivos. Novamente, ações de melhorias serão necessárias para eliminar fontes de variação dimensional não controláveis, chamadas de "ruídos do processo". O importante é que a constante atualização do modelo dimensional possibilita a tomada dessas ações de maneira robusta, embasadas tecnicamente e com um rápido poder de resposta, viabilizando o lançamento do produto dentro do prazo e com qualidade.

A Figura 33 apresenta o fluxograma destas práticas, finalizando estas ações para a fase de Desenvolvimento do produto, garantindo-se um fluxo de comunicação eficaz ao longo de todo o processo.

Figura 33 – Fluxograma proposto para validação do modelo dimensional conforme processo de montagem



Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.4.7 Meta 07 – Retroalimentar o desenvolvimento de produtos com informações da produção

- *Modo de Falha 13 – Não direcionamento de reclamações do consumidor no desenvolvimento de novos produtos*

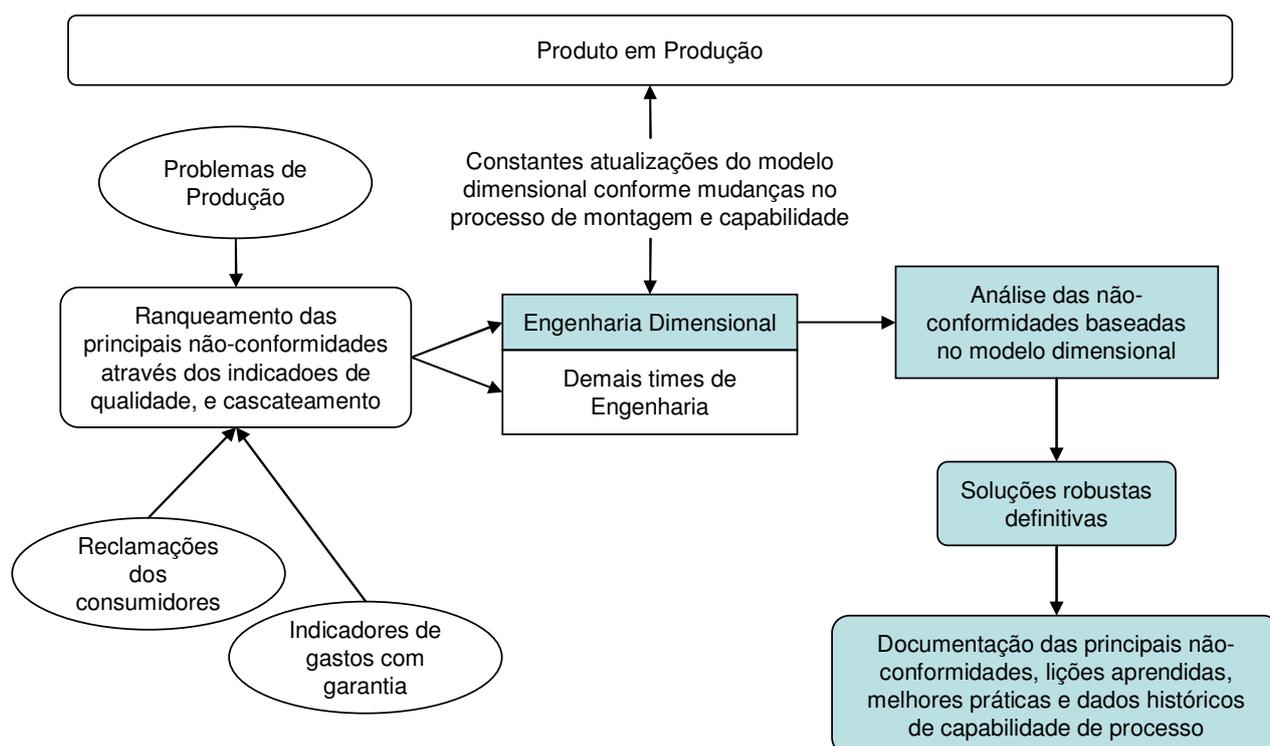
Este modo de falha, quando evitado, fecha o ciclo da gestão dimensional no processo de desenvolvimento do produto, garantindo a robustez deste processo. Já existe hoje, na companhia, um time de Qualidade responsável por cuidar desses dados de reclamação do cliente e tentar direcioná-los no desenvolvimento de novos produtos. O fato notável que leva a este modo de falha é a má comunicação, em que a interpretação dessas reclamações e o direcionamento das mesmas para as áreas apropriadas acabam sendo realizadas equivocadamente.

Conforme visto na Literatura, quando o produto chega nesta fase de transição do desenvolvimento para produção, é conveniente que parte do time ainda permaneça trabalhando no produto, para que não se perca todo o histórico do desenvolvimento, entendendo-se que assim o tempo de resposta para resolver uma não-conformidade será mais rápido. O que acontece hoje na companhia é que não existe essa transição dentro do time de Engenharia Dimensional. Simplesmente todos os integrantes daquele time são deslocados para o desenvolvimento de outros produtos. Com o passar do tempo, não-conformidades começam a surgir, e os indicadores de qualidade começam a piorar, fazendo com que os times de engenharia envolvidos com o produto em produção trabalhem para tomar ações de melhorias. A falta de indivíduos da Engenharia Dimensional vivenciando esses problemas no dia-a-dia, faz com que este time não tenha envolvimento contínuo com estes problemas. Esse envolvimento só ocorre quando alguém da equipe que estiver trabalhando com os problemas de qualidade perceber que a causa pode ter alguma relação com as variações dimensionais do processo. Nesses casos, o time de Engenharia Dimensional acaba sendo envolvido, no entanto, o seu tempo de resposta termina sendo muito longo, pois na maioria das vezes o modelo dimensional precisará ser atualizado antes mesmo de começar-se a avaliar o problema. Com isso, o trabalho acaba não sendo viabilizado e ações de contenção, sem embasamento técnico, são tomadas, os problemas são "mascarados" e a produção continua, até o dia em que elas voltam a ocorrer, causando, mais uma vez, insatisfação dos consumidores, paradas de produção e outros impactos negativos para a companhia.

A proposta de melhoria consistiria em manter parte do time de Engenharia Dimensional integrando a equipe de produção, mantendo o modelo dimensional constantemente atualizado (processo e capacidade); avaliando os indicadores de qualidade; identificando as não-conformidade que potencialmente podem ter origem

dimensional; e analisando-as com base nos modelos de simulação. Com isso, assegura-se que cada não-conformidade dimensional crítica seja corretamente tratada, e que ações corretivas sejam corretamente implementadas, embasadas em racionalidade técnica. Por fim, este time ainda seria responsável por criar e manter uma lista com os principais problemas dimensionais de produção, lições aprendidas, melhores práticas e dados históricos de capacidade do processo, para, então, serem direcionadas para os novos produtos a serem desenvolvidos, garantindo a retroalimentação da produção para a engenharia de desenvolvimento de produtos. Dessa forma, a companhia se beneficiaria com uma melhoria contínua do produto e com projetos mais robustos do ponto de vista dimensional. A Figura 34 apresenta a sequência de atividades sugeridas nesta fase do produto, fechando o ciclo de gestão dimensional.

Figura 34 – Fluxograma proposto de suporte da Engenharia Dimensional para problemas de qualidade



Fonte: elaborado pelo autor

Feito isso, conclui-se o quarto passo relacionado à proposta de aprimoramento de práticas de gestão dimensional, a partir da observação do cenário atual do processo de gestão dimensional da Alfa Motors. A seguir, apresenta-se o Modelo de Análise completamente preenchido.

#### 4.5 Passo 5 – Preenchimento do Modelo de Análise com as práticas de aprimoramento

Com as informações obtidas no quarto passo, conclui-se o preenchimento do Modelo de Análises conforme apresentado na Tabela 09.

Tabela 09 – Modelo de Análise final

(continua)

Descrição do Processo	Meta do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha Potencial	Controle Atual	Ação Recomendada
Gestão Dimensional do produto	<p><u>META 01</u> Definir claramente os requisitos dimensionais (estéticos e funcionais) do produto</p>	<p><u>Modo de Falha 01</u> Não definir requisitos dimensionais para determinados atributos do veículo</p>	<p>Possibilidade de ocorrência de não-conformidades identificadas tardiamente, levando a mudanças de projeto, paradas de produção ou impactos de qualidade para o consumidor, dependendo de quando e por quem for identificada</p>	<p>Inexistência de requisitos dimensionais; Inexperiência do time de engenharia responsável pelo desenvolvimento de um determinado sistema, que não consegue prever as potenciais falhas</p>	<p>Existe um processo formal para definição e cascadeamento dos requisitos dimensionais estéticos do veículo, no entanto, inexistente para os funcionais</p>	<p>Estabelecer um processo de definição e cascadeamento dos requisitos funcionais</p>
		<p><u>Modo de Falha 02</u> Sub/Super dimensionar os requisitos dimensionais do veículo</p>	<p>Mudanças tardias de projeto para corrigir uma condição que aparentemente era aceitável; Encarecimento do custo do produto desnecessariamente, levando a perda de competitividade</p>	<p>Desconhecimento dos produtos concorrentes; Desconhecimento das necessidades e desejos dos consumidores</p>	<p>Requisitos estéticos são baseados em especificações globais da companhia, e os funcionais baseados no <i>expertise</i> técnico de especialistas</p>	<p>Comprar serviços de <i>benchmarking</i> dos veículos concorrentes, com o intuito de mensurar os requisitos estéticos objetivamente</p>

Tabela 09 – Modelo de Análise final

(continuação)

Descrição do Processo	Meta do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha Potencial	Controle Atual	Ação Recomendada	
Gestão Dimensional do produto	META 02 Analisar a viabilidade técnica dimensional dos conceitos de design do produto	<u>Modo de Falha 03</u> Não avaliar/validar o(s) conceito(s) de <i>design</i> em relação à sensibilidade devida a variação dimensional	Mudanças tardias de projeto;  Necessidade de meios produtivos mais refinados, elevando o custo de produção;  Necessidades de "fábricas ocultas" para operações de ajuste	Falha de comunicação entre manufatura e desenvolvimento de produtos, e conceber projetos sem levar em consideração restrições de manufatura	Existe um <i>fórum</i> para revisão da viabilidade técnica dos conceitos de <i>design</i> do veículo, porém variação dimensional não é considerada	Estabelecer um processo de verificação de sensibilidade de <i>design</i> baseado em lições aprendidas de manufatura	
		<u>Modo de Falha 04</u> Não avaliar/validar potenciais pré-requisitos para cumprir os requisitos dimensionais	Não cumprir requisitos dimensionais críticos do produto;  Necessidades de "fábricas ocultas" para operações de ajuste	Desconhecimento de dados de capacidade, seja de processos similares ou de novas tecnologias	Informações de dados históricos de capacidade não são disponibilizados para engenharia de desenvolvimento de novos produtos;  Níveis de capacidade comprovada de novas tecnologias não são formalmente solicitadas aos fornecedores	Estabelecer um processo formal para obtenção de dados de capacidade no início do desenvolvimento	
	META 03 Constatar que o projeto, manufatura e processo de montagem otimizados atendem os requisitos dimensionais do produto	<u>Modo de Falha 05</u> Aprovar o projeto sem cumprir determinados requisitos dimensionais	Não cumprir determinados requisitos do produto;	Não definir os requisitos a serem verificados	Discutido no Modo de Falha 01		
			<u>Modo de Falha 05</u> Mudanças tardias de projeto;  Necessidade de controle severos no processo de manufatura, elevando o custo de produção	Submeter o projeto para aprovação sem comprovar que os requisitos foram cumpridos	Apenas os requisitos estéticos são submetidos para verificação, no entanto nem a comprovação do cumprimento destes é garantida, pois não existe um controle sistemático	Incluir os requisitos estéticos e funcionais em um sistema eletrônico de verificação e comprovação de requisitos; Estabelecer metas conforme a maturidade do projeto; Reportar para a alta gestão da companhia	
		<u>Modo de Falha 06</u> Mudar os requisitos sem avaliar o impacto para o consumidor	Necessidade de custos adicionais de manufatura, devido a controles mais rigorosos e "fábricas ocultas" para operações de refinamento  Potencial insatisfação do consumidor	Pressões da gerência do programa para validar o cumprimento dos requisitos e seguir adiante com o desenvolvimento	Alterações de requisitos funcionais são obrigadas a passar pela aprovação dos especialistas técnicos da companhia;  Alterações de requisitos estéticos não são avaliadas minuciosamente	Implementar a utilização de simulações foto-realísticas para avaliação do impacto das mudanças de requisitos estéticos	

Tabela 09 – Modelo de Análise final

(continuação)

Descrição do Processo	Meta do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha Potencial	Controle Atual	Ação Recomendada
Gestão Dimensional do produto	META 04 Assegurar que a documentação dimensional do produto esteja correta	<u>Modo de Falha 07</u> Liberar projetos de peças sem seguir as considerações feitas nas análises de simulação dimensional	Aprovar peças ruins ou reprovar peças boas, em relação ao dimensional das mesmas, enquanto fornecidas para montagem de protótipos e produção;  Ocorrência de não-conformidades que não deveriam existir;  Mudanças tardias de ferramental;  Renegociação de custo com fornecedores devido a redução de tolerâncias	Falha de comunicação entre times de engenharia	Inexistente: tanto a engenharia responsável pela liberação de peças, quanto a manufatura, podem optar por adotar ou não uma recomendação do time dimensional, sem que uma nova análise seja necessária para verificar a viabilidade do novo conceito	Integrar a atividade de liberação de projetos com a verificação das considerações utilizadas nos modelos de simulação dimensional
		<u>Modo de Falha 08</u> Liberar projetos de métodos de montagem, sem seguir as considerações feitas nas análises de simulação dimensional	Adição de variação dimensional desnecessária na montagem do produto, gerando condições de dificuldade ou não-montagem de peças e, consequentemente, não cumprimento de requisitos;  Ocorrência de não-conformidades que não deveriam existir			
		<u>Modo de Falha 09</u> Criar Planos de Medição incompatíveis com as saídas das simulações dimensionais	Fazer o controle dimensional inadequado durante a montagem do produto;  Aumento de desperdícios e operações de ajustes (fábricas ocultas) para reparar não-conformidades somente verificadas após o veículo completo produzido;  Dificuldade de identificação das causas-raízes das não-conformidades devido a falta dos dados dimensionais necessários	Cópia de planos de medição de produtos similares, sem uma análise crítica da necessidade de se adicionar pontos de controle	Nenhuma relação da criação dos Planos de Medição com as simulações dimensionais	Integrar as atividades de criação dos FMEAs e Planos de Medição com as saídas dos modelos de simulação dimensional

Tabela 09 – Modelo de Análise final

(conclusão)

Descrição do Processo	Meta do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha Potencial	Controle Atual	Ação Recomendada
Gestão Dimensional do produto	<p><b>META 05</b> Validar os requisitos dimensionais do produto com protótipos através do plano de medição</p>	<p><b>Modo de Falha 10</b> Validação dimensional inadequada de peças e subconjuntos (end-items)</p>	Aprovar peças ruins e reprovar peças boas, ocasionando desperdícios, retrabalho e não-conformidades	Não fazer a aprovação e liberação correta dos desenhos, com as especificações de GD&T compatíveis com as considerações utilizadas nos modelos de simulação dimensional	Time de suporte aos fornecedores e/ou a área de fabricação de peças da própria companhia acompanha a inspeção e validação dimensional	Manter o processo, desde que a liberação do projeto das peças siga as melhores práticas propostas para o Modo de Falha 07
				Conceber dispositivos de aferição dimensional que não representem a funcionalidade das peças, ou seja, não simulem a forma pela qual as peças são montadas	Dispositivos de medição não são validados conforme funcionalidade das peças e subconjuntos	Criar uma etapa de validação do projeto dos dispositivos a serem verificados pelo time de Engenharia Dimensional
		<p><b>Modo de Falha 11</b> Controle dimensional inadequado durante a montagem do produto</p>	Impossibilidade de antecipar não-conformidades e tomar ações preventivas; Desperdício, retrabalho e dificuldade de identificar causas-raízes das não-conformidades	Criar Planos de Medição incompatíveis com as saídas das simulações dimensionais	Controle dimensional do produto é feito conforme estabelecido no Plano de Controle	Manter o processo, desde que a liberação do Plano de Controle siga as melhores práticas propostas para o Modo de Falha 09
	<p><b>META 06</b> Validar a capacidade do processo de manufatura conforme intenções de projeto</p>	<p><b>Modo de Falha 10</b> Validação dimensional inadequada de peças e subconjuntos (end-items)</p>	Idem	Idem	Idem	Idem
		<p><b>Modo de Falha 11</b> Controle dimensional inadequado durante a montagem do produto</p>	Idem	Idem	Idem	Idem
		<p><b>Modo de Falha 12</b> Não validar o modelo dimensional em relação ao processo de montagem</p>	Ocorrência de não-conformidades e dificuldade para identificar suas causas-raízes	Alterações no processo de montagem não previstas no desenvolvimento do projeto Baixa capacidade do processo em atingir as intenções de projeto, devido a fontes de variação não analisadas nos modelos dimensionais	Atuação do time de Engenharia Dimensional na fase de Lançamento do Produto só ocorre sob demanda	Inserir o time de Engenharia Dimensional na validação dos dispositivos de montagem construídos, fluxo de processo estabelecido e controle estatístico de processo
	<p><b>META 07</b> Retroalimentar o desenvolvimento de produtos com informações da produção</p>	<p><b>Modo de Falha 13</b> Não direcionamento de reclamações do consumidor no desenvolvimento de novos produtos</p>	Continua perda de satisfação dos clientes e confiabilidade com a marca; Aumento gradativo de custos com garantia, para reparo das não-conformidades	Falha de comunicação	Suporte do time de Engenharia Dimensional na fase de Produção só é feito sob demanda, com baixo poder de reação e valor agregado para melhoria de qualidade do produto	Incluir membros do time de Engenharia Dimensional como integrantes permanentes da equipe voltada para melhoria de qualidade

Fonte: elaborado pelo autor

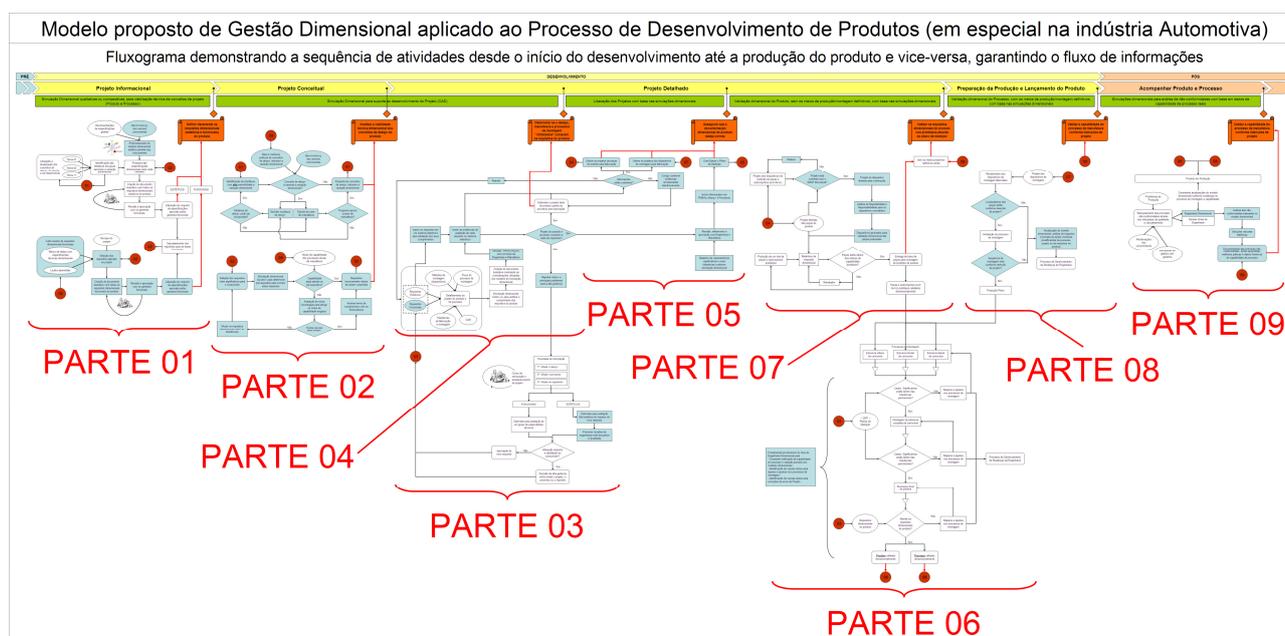
A seguir, apresenta-se o mapa global de aprimoramento das práticas, constituindo o modelo de gestão dimensional no PDP.

#### 4.6 Passo 6 – construção do modelo de gestão dimensional no PDP

Este sexto e último passo consiste em inserir as melhorias até aqui identificadas no modelo genérico de Processo de Desenvolvimento de Produtos, conforme apresentado no Capítulo 2 – Revisão da Literatura. Com isso, objetiva-se fornecer um mapa global dessas práticas, as conexões entre elas e, desta forma, assegurar o fluxo de informações desde o desenvolvimento até a produção e vice-versa, fechando-se assim o ciclo de gestão dimensional do produto.

A Figura 35 apresenta uma visão geral deste conjunto de práticas, já com suas conexões no PDP, consistindo no modelo proposto de Gestão Dimensional aplicado.

Figura 35 – Modelo proposto de Gestão Dimensional aplicado ao PDP



Fonte: elaborado pelo autor

Devido à impossibilidade de leitura em uma mesma página em razão do tamanho deste modelo, o modelo será apresentado a seguir, dividido em 9 partes (9 figuras – Figura 35a à 36i), com grau de detalhamento suficiente para o entendimento do mapa global das práticas de gestão dimensional propostas para a Alfa Motors. Os círculos em "vermelho" que serão apresentados nestes novos fluxogramas representam as conexões entre as atividades da gestão dimensional, ou seja, como as saídas de determinadas

tarefas, passam a ser as entradas de outras, garantindo assim um fluxo de informações contínuo. A seguir apresenta-se uma explicação de cada conexão.

**01** Durante o processo de definição das interfaces que precisam ter um controle dimensional estético (folga e nivelamento), é sugerida uma análise dos conceitos de *design*, quando o time de Engenharia Dimensional vai dar o parecer técnico sobre conceitos robustos (menos sensíveis) à variação dimensional, seja através de práticas identificadas em projetos anteriores, seja pela análise dos concorrentes. Essa atividade é fundamental para eliminar controles mais severos nos processos de montagem do produto, o que significa aumento de custos de produção e, também, possibilita os times de Manufatura analisarem o investimento necessário para garantir o alinhamento requisitado em determinadas interfaces críticas do produto.

**02** Durante o processo de definição de especificações dos requisitos dimensionais estéticos e funcionais do produto, para tornar este processo mais robusto, é sugerida uma análise conceitual qualitativa, quando o time de Engenharia Dimensional, por meio dos modelos de simulação, executa análises top-down, ou seja, a partir destes requisitos determina quais devem ser os pré-requisitos para manufatura, a fim de cumprí-los. Isso força o time de Manufatura a fazer uma análise de investimentos necessários, bem no início do desenvolvimento, apresentando o que precisa ser adquirido a fim de cumprí-los. Uma análise qualitativa dimensional ajuda a demonstrar, por exemplo, o quanto de redução de variação dimensional é esperado com a compra de um novo dispositivo de montagem/alinhamento de peças, e, com isso, decidir pelo investimento e determinar a viabilidade técnica de cumprir os requisitos. Essa atividade prepara uma diretriz para os times multifuncionais focarem no detalhamento do projeto mais adiante, reduzindo os imprevistos.

**03** Feita uma definição robusta dos requisitos dimensionais do produto, estes servirão de entradas nos modelos de simulação dimensional durante o detalhamento do projeto, dando apoio ao desenvolvimento de projetos robustos, que demonstrem a capacidade de cumprir estes requisitos. Os modelos de simulação

dimensional proporcionam as interações de engenharia, de modo a otimizar o projeto do produto e também do processo, facilitando um ambiente de engenharia simultânea.

**04** Feito todo o detalhamento do projeto do produto, com todas as etapas propostas garantindo o alinhamento dos projetos liberados com os modelos de simulação dimensional, as informações de GD&T liberadas nestes projetos servirão de entrada para a concepção de dispositivos de medição funcionais das peças e subconjuntos (*end-items*). Isso garante dispositivos robustos, os quais farão as aferições dimensionais corretamente, aprovando somente as peças realmente boas e reprovando as ruins.

**05** A criação e liberação do Plano de Controle de Medição do produto seguindo as etapas propostas, servirá de entrada para se definir um Controle Estatístico do Processo adequado, o qual possibilitará a identificação de tendências de não-conformidades e o fácil mapeamento de causas-raízes, de modo a garantir a definição das características significativas e suas tolerâncias permissíveis conforme obtido nos modelos de simulação dimensional.

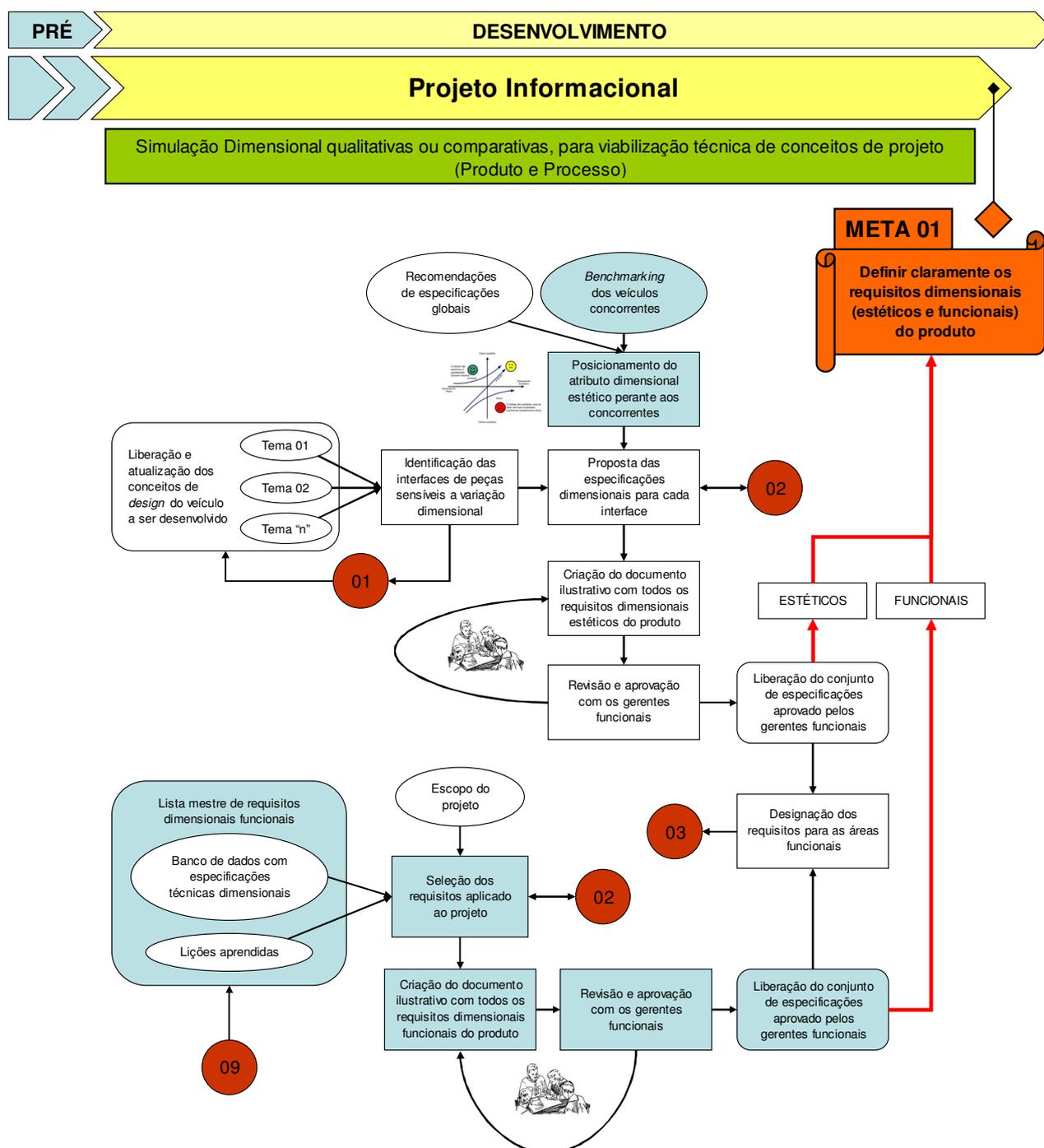
**06** A sequência de atividades propostas também garantirá a correta validação dimensional do produto enquanto protótipo, mesmo sem os meios definitivos de montagem.

**07** Em paralelo ao detalhamento do projeto do produto, também são feitos os projetos dos dispositivos de montagem do mesmo, os quais, seguindo os modelos dimensionais, irão garantir que o processo de montagem concebido mais adiante segue as condições simuladas durante o desenvolvimento. Isso vai dar apoio à atividade de validação de capacidade do processo em atingir os requisitos dimensionais do produto, o qual está representado pelo conector **08** .

**09** Com a continuidade do time de Engenharia Dimensional na fase de Produção, as informações coletadas irão servir de entradas para o desenvolvimento de novos produtos, proporcionando melhorias constantes do produto.

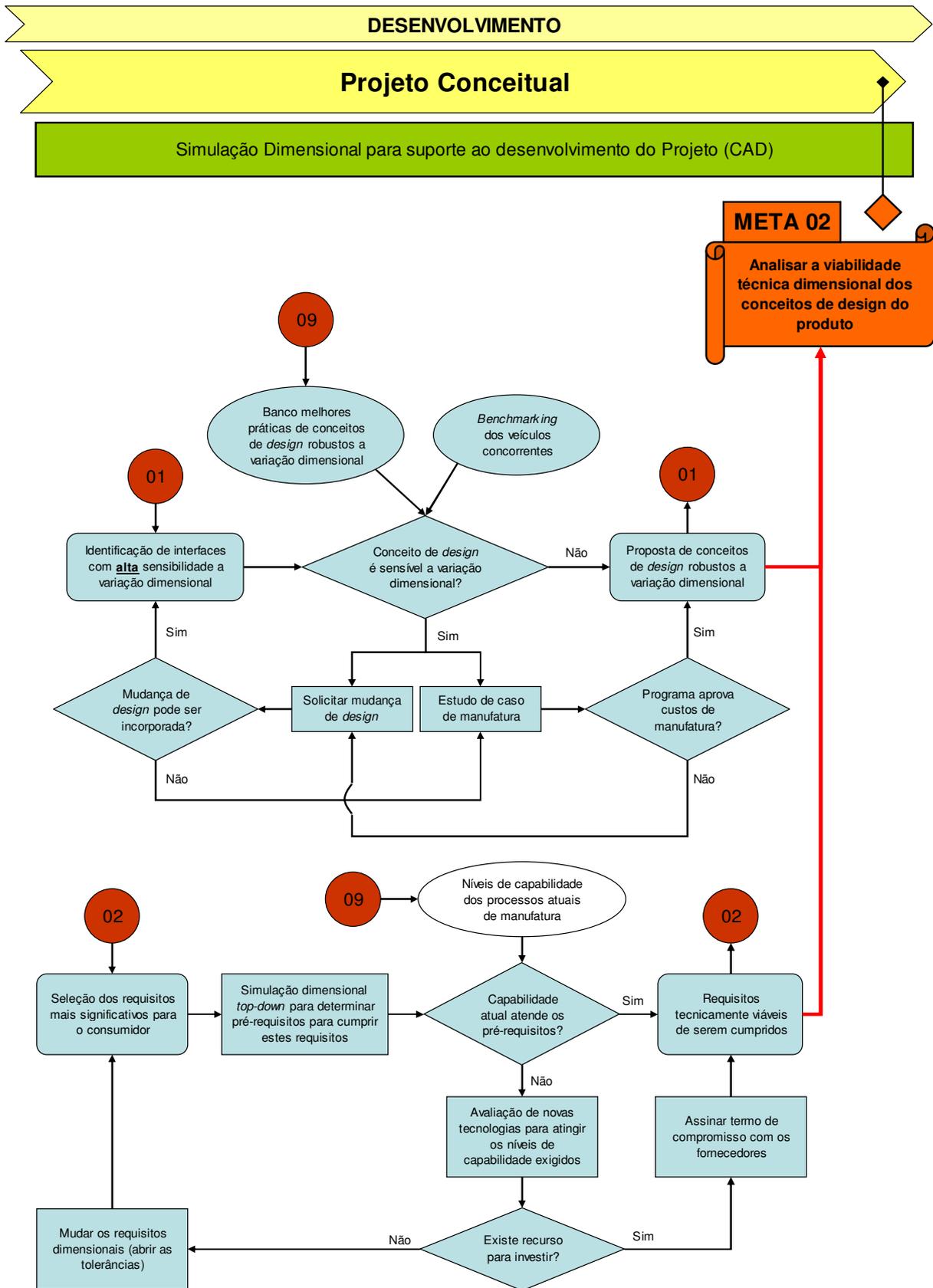
A seguir, apresentam-se as Figuras 36a à 36i, conforme divisão do modelo proposto de gestão dimensional em 9 (nove) partes.

Figura 35a – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 01



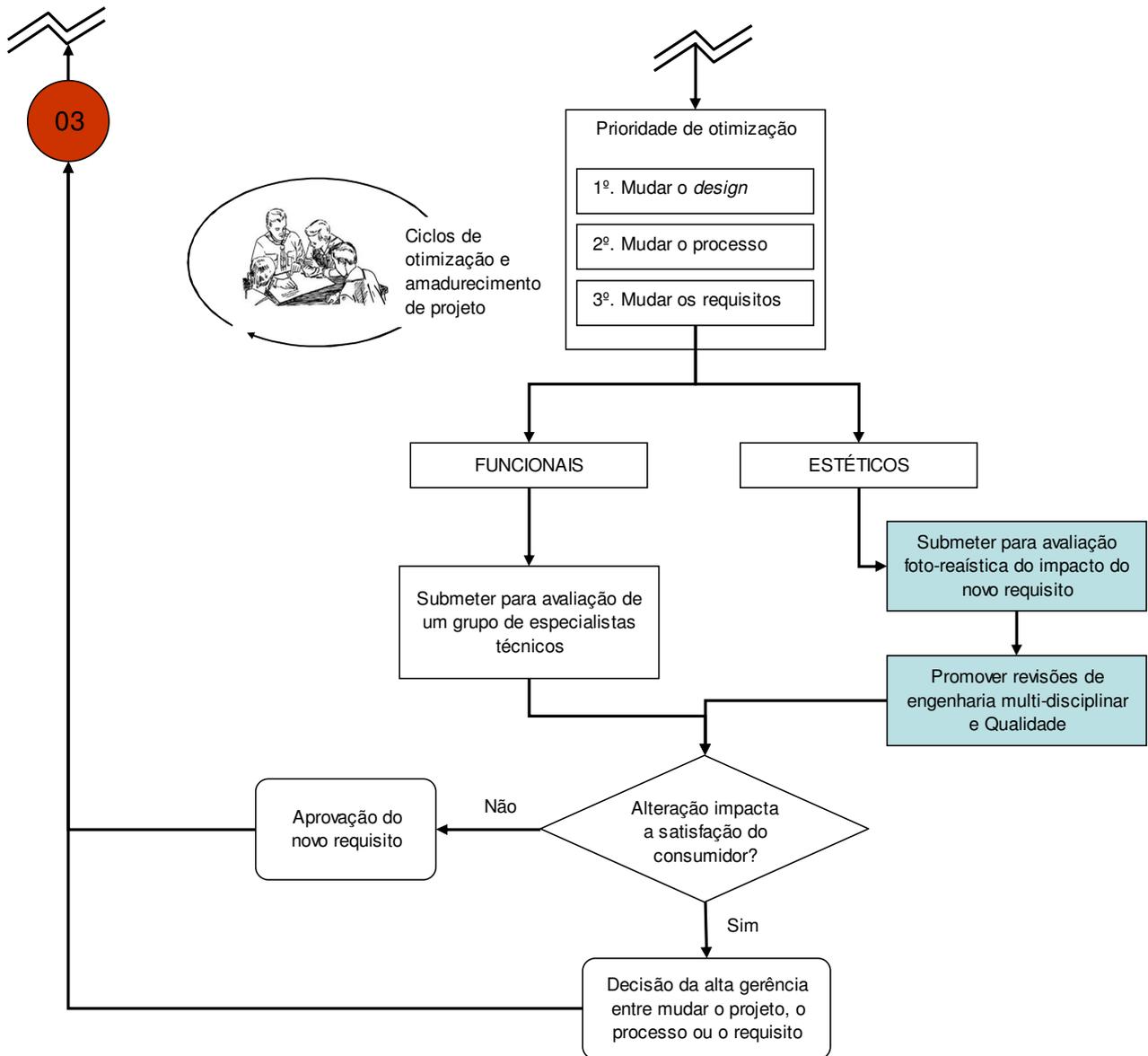
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 35b – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 02



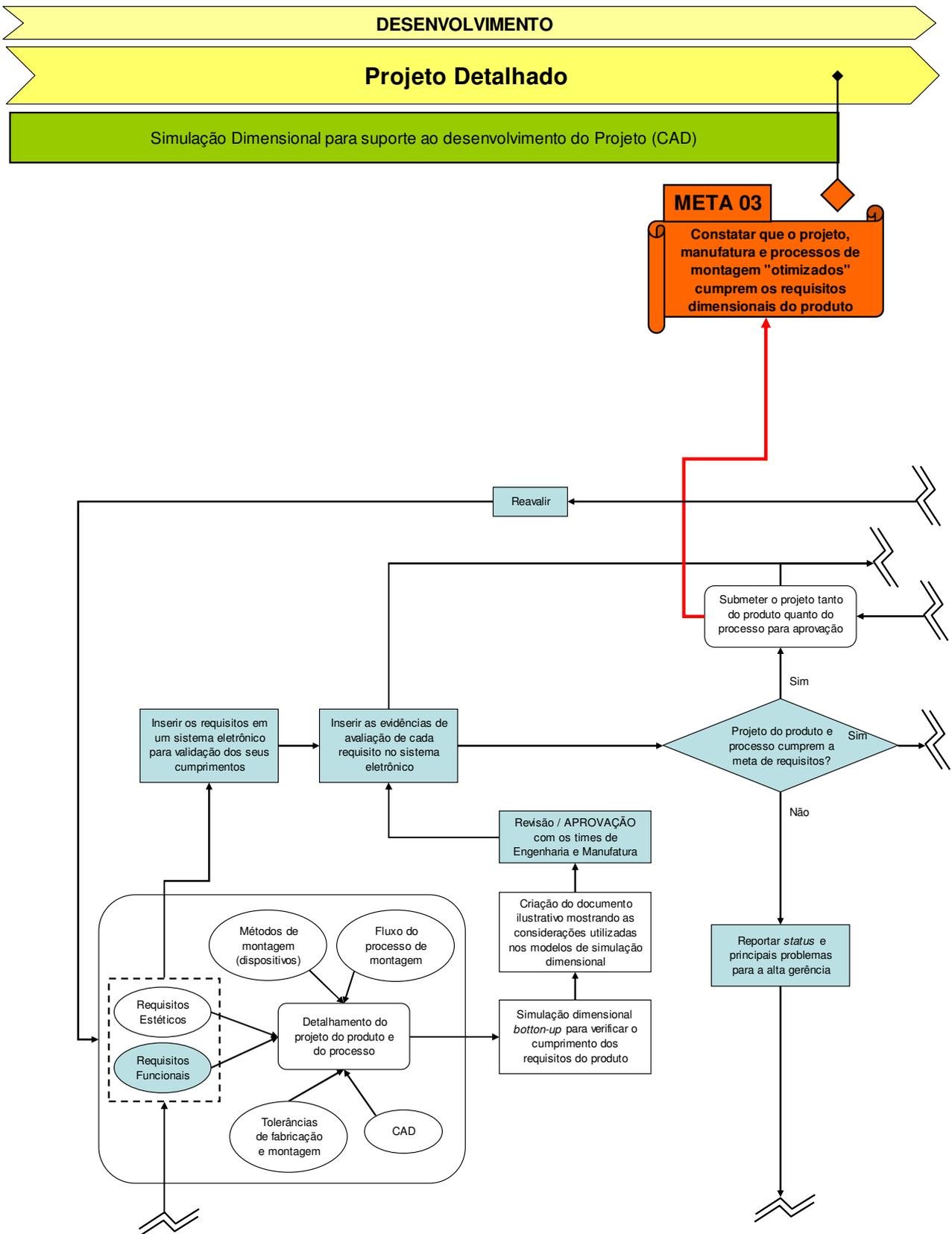
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 35c – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 03



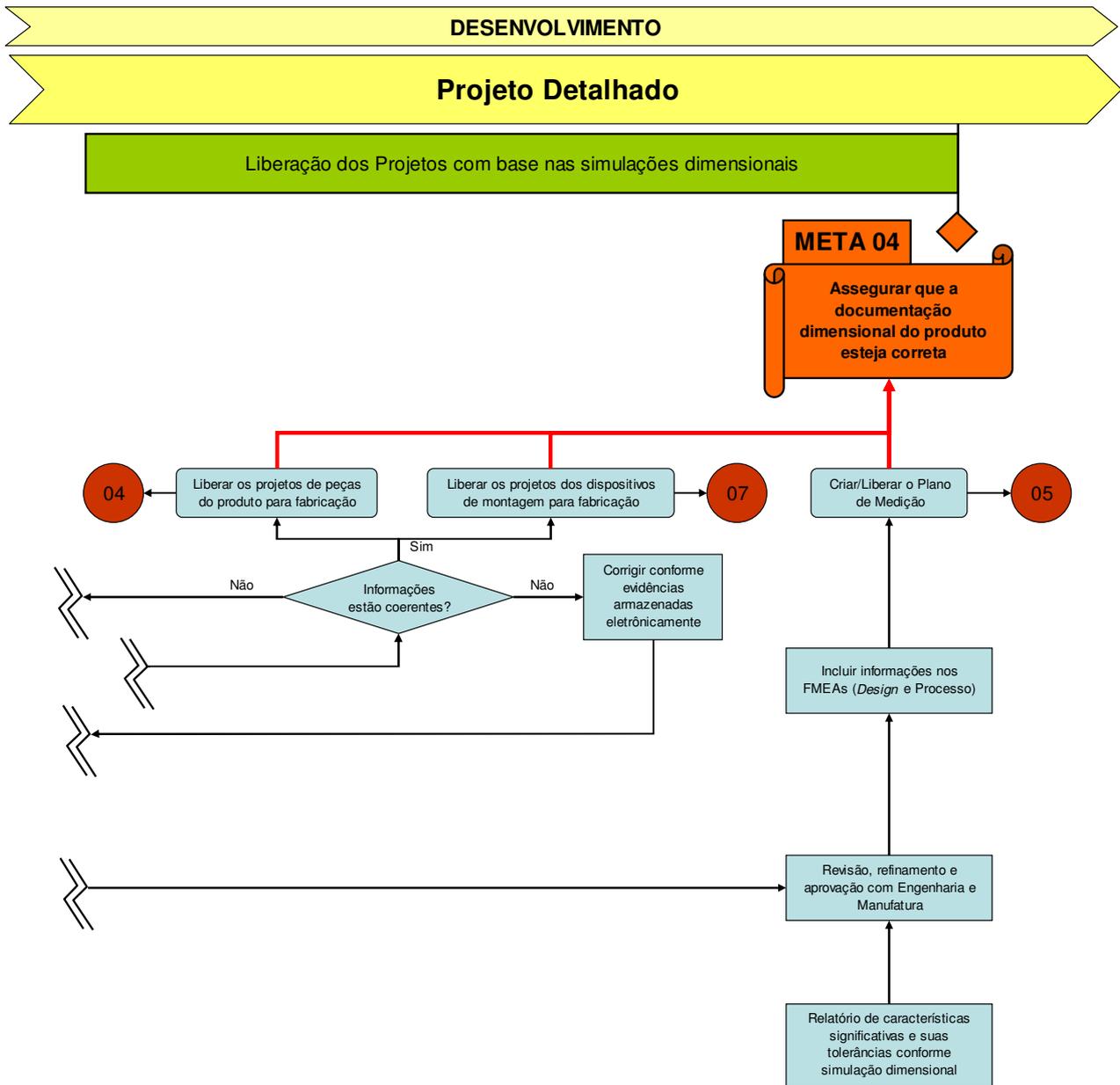
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 35d – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 04



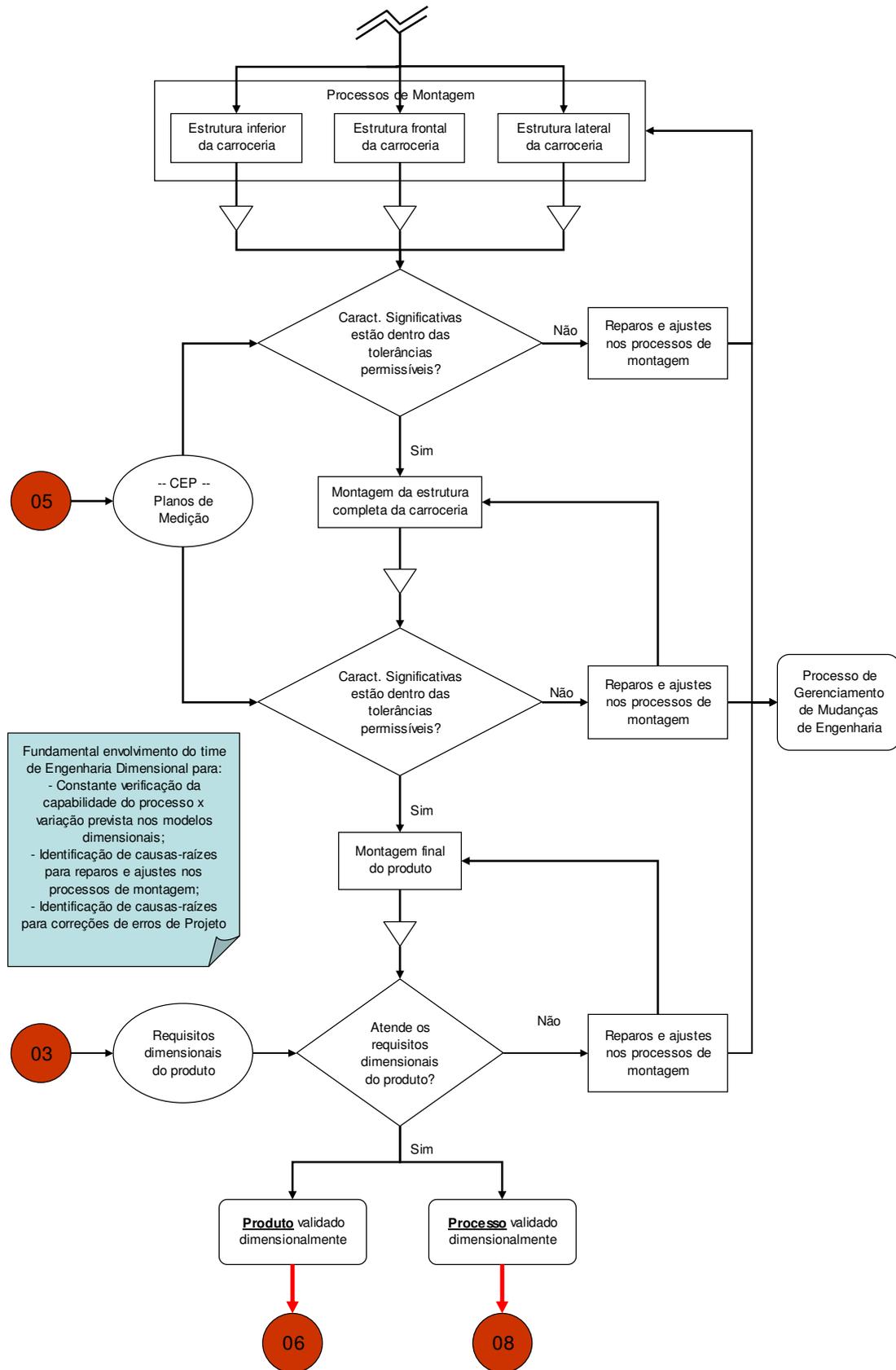
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 35e – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 05



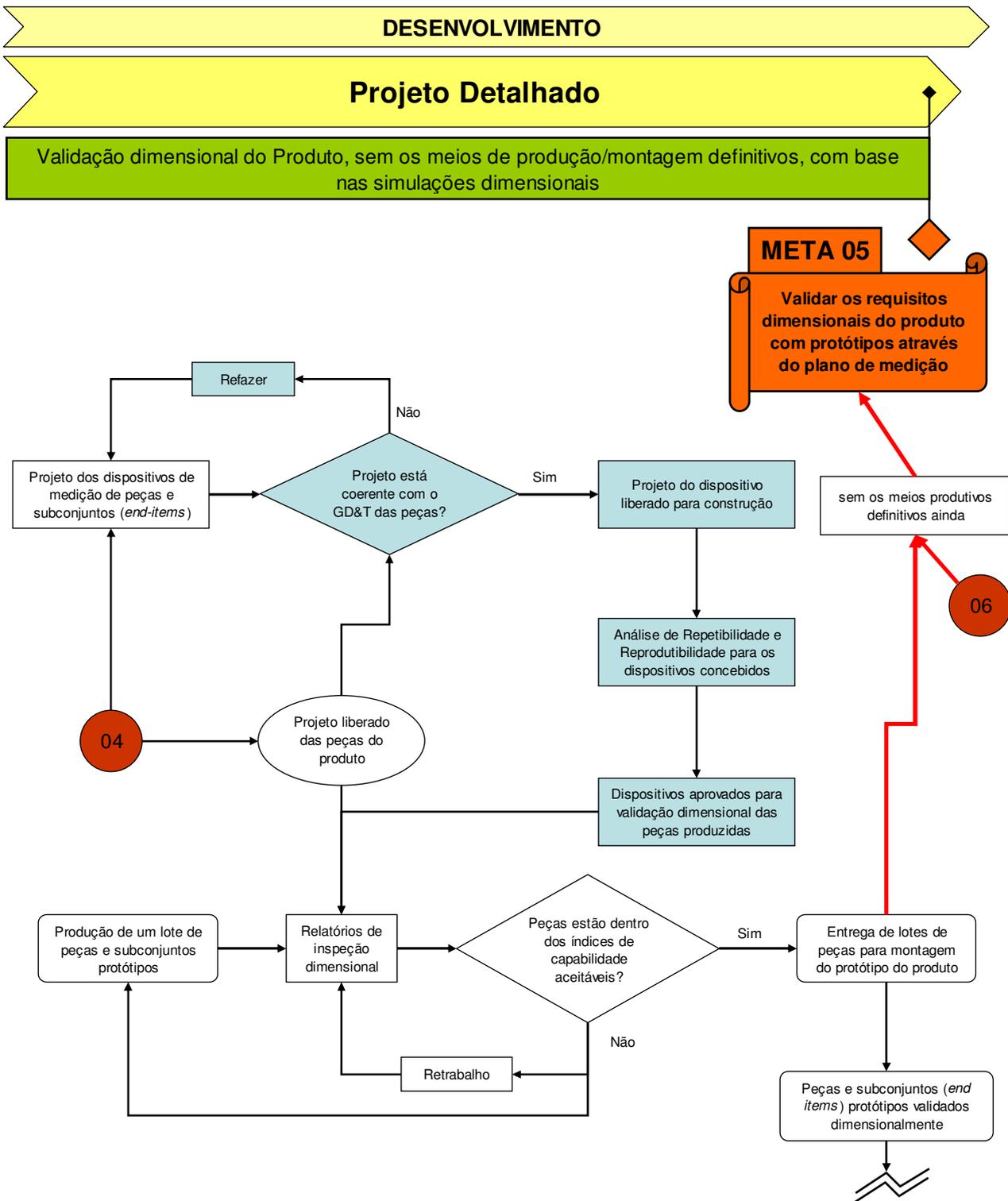
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 35f – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 06



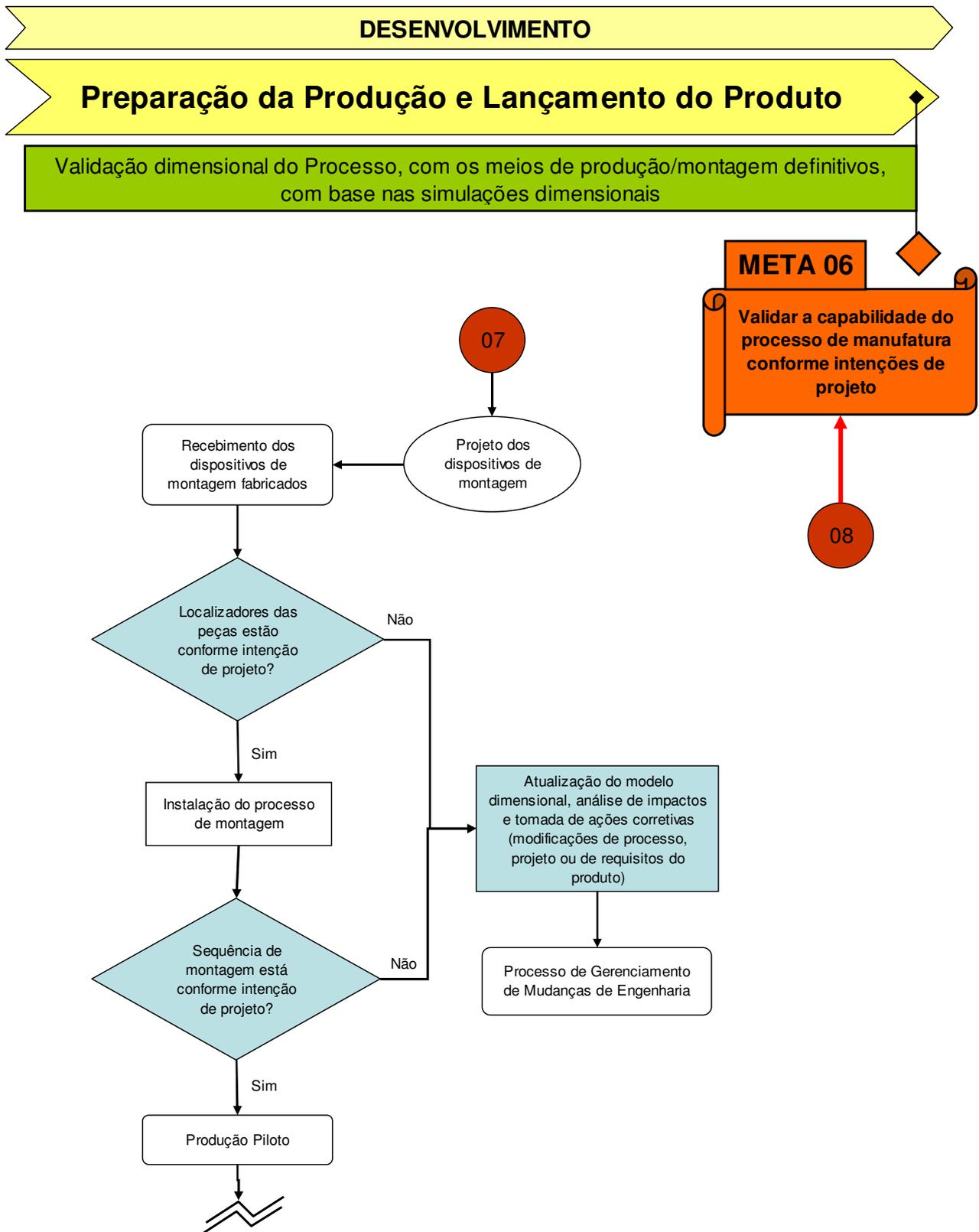
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 35g – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 07



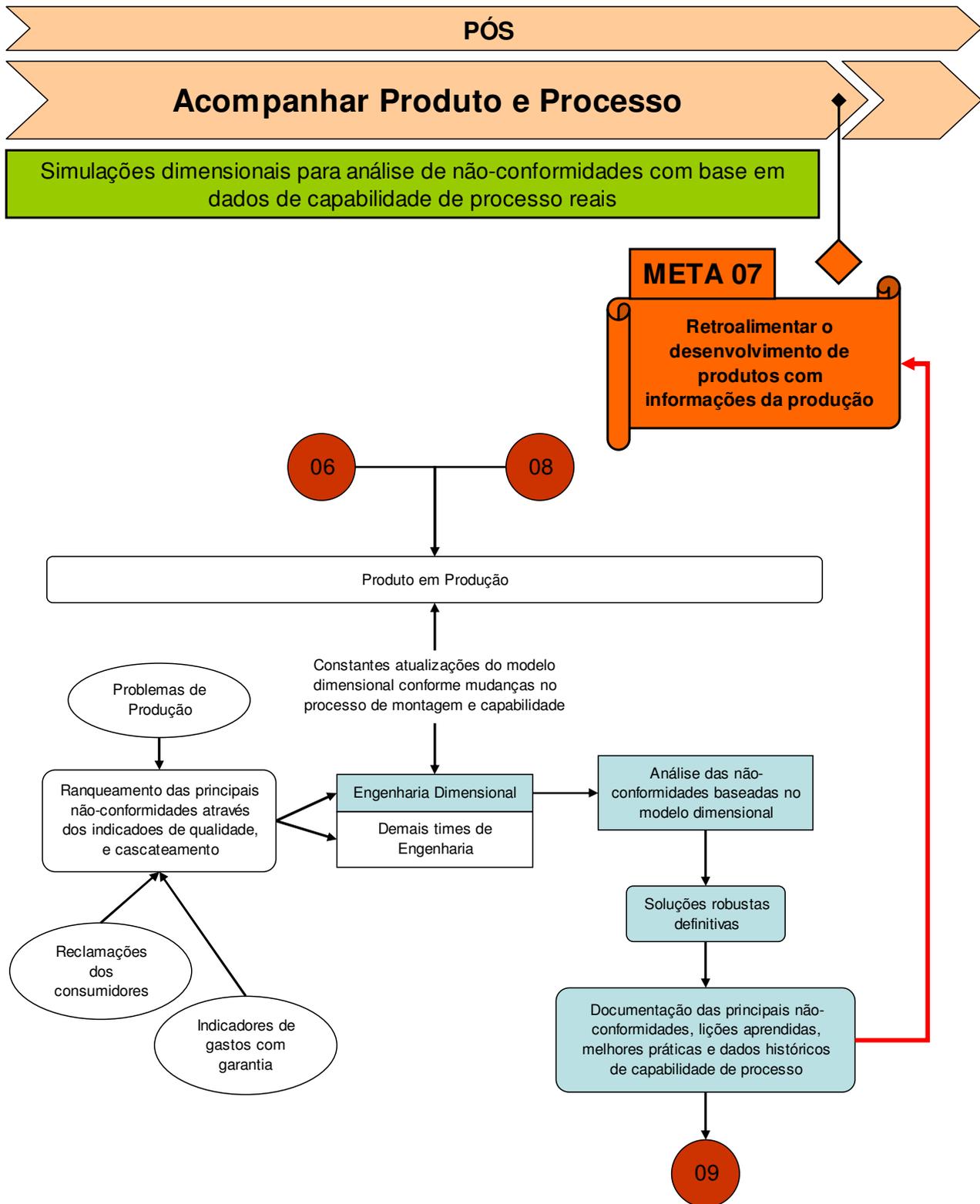
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 35h – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 08



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 35i – Modelo de Gestão Dimensional – PARTE 09



Fonte: elaborado pelo autor

Com isso, concluí-se o Capítulo 4 – Análise de Resultados – atingindo-se o objetivo geral desta dissertação, que visa estabelecer um conjunto de práticas de Gestão Dimensional para a Alfa Motors, voltadas para a redução de não-conformidades identificadas tardiamente no desenvolvimento de seus produtos.

## 5. CONCLUSÕES

O conjunto de práticas de gestão dimensional, propostas de maneira sequencial e ordenada conforme as fases genéricas de um processo de desenvolvimento de produtos, responde ao questionamento que motivou o desenvolvimento desta dissertação, ou seja, como a gestão dimensional poderia atuar no desenvolvimento de novos veículos na Alfa Motors, para assegurar o fluxo de comunicação adequado da engenharia de produto para a manufatura e vice-versa, de modo a garantir a identificação e correção de não-conformidades nas fases de projeto do produto.

Foram apresentadas as conexões entre cada atividade e explicou-se como elas asseguram o fluxo de informações críticas para o cumprimento dos requisitos dimensionais do produto. Tal ciclo inicia-se com a identificação e tradução da "voz do consumidor" em requisitos técnicos mensuráveis; passa pelas fases de Projetos Conceitual e Detalhado, com a utilização dos modelos de simulação dimensional como parte fundamental deste processo de gestão; e vai até a validação dos protótipos, processo e produção do produto, com a implementação do CEP para monitorar a variação dimensional das características significativas do produto. Com isso estabelecem-se as condições para o cumprimento dos requisitos estabelecidos. Mostrou-se também, como as informações da produção devem retroalimentar o desenvolvimento de novos produtos, a fim de buscar-se a melhoria contínua de qualidade e, com isso, fechar-se o ciclo de um processo robusto de gestão dimensional. Entretanto, estas práticas não são intencionadas a serem executas "sequencialmente". Elas fazem parte de um processo de engenharia simultânea, com constantes avaliações das alternativas de projeto e processo até que se cheguem a um acordo de uma solução otimizada, idealmente antes do comprometimento com a produção do ferramental do processo.

Este trabalho pretende esclarecer como a gestão dimensional deve atuar durante todo o ciclo de desenvolvimento do produto, atribuindo tarefas e responsabilidades para diferentes times, dentre eles, Engenharia, Manufatura, Fornecedores, Qualidade e *Design*, além do próprio time de Engenharia Dimensional. Este time tem o papel fundamental de criar e manter os modelos de simulação dimensional, os quais darão

suporte ao desenvolvimento de projetos robustos, capazes de absorver o máximo de variação possível, sem afetar a qualidade estética e funcional do produto. Assim, confirma-se que a gestão dimensional promove práticas de engenharia simultânea, forçando o desenvolvimento de soluções que influenciam tanto o projeto do produto quanto do processo.

Percebe-se, também, que o principal viabilizador da gestão dimensional é o modelo de simulação dimensional, o qual cumpre o papel de ser a ferramenta da engenharia para verificar se o projeto e processo otimizados são capazes de cumprir os requisitos do produto. Além disso, caso não o sejam, proporciona de maneira rápida o desenvolvimento de propostas e soluções de engenharia para cumprí-los, seja com modificações do produto ou do processo, sem a necessidade de construção de protótipos para testes de tentativas e erros até se chegar a solução adequada. Assim, economiza-se tempo e dinheiro no desenvolvimento de novos produtos. Esses modelos são capazes de especificar quais são as características significativas do produto e suas tolerâncias permissíveis, o que vai alimentar a construção de Planos de Controle de Manufatura robustos, os quais, alinhados ao CEP, serão capazes de monitorar e antecipar não-conformidades logo no início do processo de montagem. Com isso, atua-se de maneira preventiva e reduzem-se os desperdícios e as operações de ajustes e reparos, chamadas de "fábricas ocultas". A utilização desses modelos se dá em praticamente todo o ciclo de desenvolvimento do produto, com diferentes aplicações. Essas aplicações são: (a) análises "qualitativas" nas fases conceituais, onde se busca a comparação de conceitos de *design*, dispositivos de montagem e capacidade de processos de montagem similares; (b) análises "quantitativas" que proporcionam o detalhamento do projeto, com definições de tolerâncias e esquemas de localização de cada peça do produto; e (c) análises direcionadas à representação de condições reais de capacidade do processo, normalmente executadas nas fases de lançamento e produção do produto.

Com isso, constata-se o enorme potencial da gestão dimensional para melhorar significativamente a qualidade do produto, demonstrando o que precisa ser feito para se atingir requisitos específicos. A gestão dimensional atua fortemente na redução de custos de desenvolvimento de produtos, em que a utilização dos modelos de simulação

dimensional possibilita a identificação de não-conformidades ainda nas fases de projeto do produto, reduzindo a quantidade de protótipos necessários para a validação do produto e do processo, a reengenharia e as modificações tardias. Tais efeitos contribuem para reduzir, também, o tempo de desenvolvimento. Os custos de produção podem igualmente ser minimizados, a partir do desenvolvimento de projetos mais robustos à variação dimensional, os quais requerem controles de manufatura menos severos, e reduzem as necessidades de operações de ajustes e reparos. Com isso, o ciclo de produção também é reduzido, aumentando a produtividade das companhias. Por fim, produtos de qualidade, lançados mais rapidamente no mercado e a um menor custo, proporcionam vasta vantagem competitiva para as companhias, decorrendo daí a importância da gestão dimensional, que é um dos viabilizadores dessas metas.

Por fim, a apresentação das práticas de gestão dimensional em um modelo genérico de processo de desenvolvimento de produtos demonstra a aplicabilidade desta metodologia para empresas desenvolvedoras de produtos automotivos, com potencial absorção para as demais companhias desenvolvedoras de produtos multi-componentes, tais como, aviões e eletrodomésticos, entre outros. Devido à necessidade do envolvimento de diversos times multi-funcionais no esforço de cumprir as metas da gestão dimensional, a implementação deste processo deve partir como objetivo da alta gestão da companhia, com esforços simultâneos tanto de *Design* quanto de Manufatura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEGLAREK, D.; SHI, J. Dimensional Variation Reduction for Automotive Body Assembly. **Manufacturing Review**, vol. 8, no. 2, USA, 1995

CRAIG, Mark. Colloquium of Control of Dimensional Variation, Birmingham – UK. **Dimensional Management: a Necessary Process to Meet Corporate Goals for Global Competition**, 1997.

CRAIG, Mark. Dimensional Management versus Tolerance Assignment. **Assembly Automation**, UK, vol.16 p.12-16, 1996.

DANTAN, Jean-Yves; [et al.]. Geometrical product specifications – model for product life cycle. **Computer-Aided Design**, France, v.40 p.493-501, 2008

DANTAN, Jean-Yves; [et al.]. Information modeling for variation management during the product and manufacturing process design. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing – IJIDeM**, France, n.2 p.107-118, 2008.

DANTAN, Jean-Yves; [et al.]. Integrated Tolerancing Process for Conceptual Design. **CIRP Annals**, France, n.52 p.135-138, 2003.

ETIENE, Alain; [et al.]. Variation Management by Functional Tolerance Allocation and Manufacturing Process Selection. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing – IJIDeM**, France, n.2 p.207-218, 2008.

FISCHER, Bryan R; Dekker Mechanical Engineering. **Mechanical Tolerance Stackup and Analysis (2<sup>nd</sup> Edition)**. London – UK: GBR – CRC Press, 2011.

GUZMÁN, Luis Manuel Garcia. **Dimensional Management in Metal Assembly Process Validation: a Multivariate Approach**. 2001. 156 f. Thesis (Doctor of Philosophy in Industrial and Operations Engineering) – University of Michigan, USA

HASSANI, A.; AIFAOU, N.; BENAMARA, A. Computer Aided Tolerancing Based on Analysis and Synthesizes of Tolerances Methods. **4<sup>th</sup> International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Mechanics**, TU, 2008

HARPER, A. P. Colloquium of Control of Dimensional Variation, 1997, Birmingham – UK. **Jaguar's approach to Dimensional Control in Product Development**.

HONG, Y. S.; CHANG, T. C. A Comprehensive Review of Tolerancing Research. **International Journal of Production Research**, UK, n.11 vol.40 p.2425-2459, 2002

HUANG, G. Q. **Design for X: Concurrent Engineering Imperatives**. London – UK: Editora Chapman & Hall, 1996.

ILLINGWORTH, T.; MCLEOD, N. Managing Tolerances at Nissan. Jun de 2007. Disponível em [www.iconasolutions.com](http://www.iconasolutions.com). Acesso em Fev de 2012.

ISLAM, M. N. A Dimensioning and Tolerancing Methodology for Concurrent Engineering Applications II: Comprehensive Solution Strategy. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing – IJIDeM**, France, n.42 p.922-939, 2009.

ISLAM, M. N. Concurrent Engineering Offers the Best Solution to Tolerance Allocation Problems. **N. Engineer Journal**, UK, 6(1):14-15, ano

JEAN-PHILIPPE, P.; SAMPER, S. Tolerancing Analysis and Functional Requirement. **IDMME**, UK, 2004

JEFFREYS, D. Assessing Current Best Practice in Dimensional Management Techniques for Aircraft Build. **Department of Manufacturing Engineering**, UK, 1996

JEFFREYS, D.; LEANEY, P. G. Dimensional Control as an Integral Part of Next-Generation Aircraft Development. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Journal of Engineering Manufacture**, UK, vol 214 p.B, 2000.

KRULIKOWSKI, Alex; ROLL, Ph.D. James R. Avoiding Design Problems with Geometric Dimensioning and Tolerancing. **Machine Design**, USA, 2009.

LEANEY, P. G. Assessing Best Practice in Dimensional Management and Control of Variation in Automobile Build. **Department of Manufacturing Engineering**, UK, 1994

LIGGETT, John V. **Dimensional Variation Management Handbook: a guide for quality, design, and manufacturing engineers**. New Jersey – USA: Prentice Hall, 1993

LIN, C. Y.; HONG, C. L.; LAI, J. Y. Improvement of Dimensional Measurement Process using Taguchi Robust Design. **Quality Engineering**, 9:4, 561-573, China, 2007

MAO, Jian; CHING, Ho; SU, Dan; DU, Ruxu. **A Tolerance Representation Model for Conceptual Design**, China, 2008.

MCDERMOTT, Robin E.; MIKULAK, Raymond J.; BEAUREGARD, Michael R. **The Basics of FMEA (2<sup>nd</sup> Edition)**. New York: Taylor & Francis Group LLC, 2008.

MOVAHHEDY, Mohammad R.; BABAEI, Ehsan. Probabilistic Tolerance Analysis of Compliant Assemblies. **SAE International**, Iran, 2007

MOVAHHEDY, Mohammad R.; KHODAYGAN, S. Tolerance Analysis of Mechanical Assemblies with Asymmetric Tolerances. **SAE International**, Iran, 2007

MUSKE, S. Application of Dimensional Management on 747 Fuselage. **In Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Seminar on Tollerancing and Assembling Modelling**, USA, 1997

PERCEIVED QUALITY JOURNAL. Dez de 2011. Disponível em [www.pqjournal.com](http://www.pqjournal.com). Acesso em Fev de 2011.

PERES, E. M.; SOUZA, G. F. M. Design and Dimensional Engineering – a case about style parameters and engineering standards. **SAE International**, Brasil, Nov de 2007

RIZVI, Asif A. Dimensional Management – Setting Static and Dynamic Dimensional Goals Concurrently. **SAE International**, France, 2002.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; DE, SILVA, S. L. DA; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K.. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo – BR: Editora Saraiva, 2006.

SLEATH, Denis; LEANEY, Dr. Paul. Colloquium of Control of Dimensional Variation, Birmingham – UK. **Control of Dimensional Variation and Integrated Product Development**, 1997.

SODERBERG, S. Robust Design by Support of Computer Aided Tolerancing Tools. **ASME Design Engineering Technical Conference**, USA, 1998

STAIF, John. Dimensional Management Process Applied to Automotive Doors Systems. **SAE International**, USA, 1998.

STAIF, John. Dimensional Management Process Applied to Automotive Front-end Sheet Metal and Exterior Ornamentation. **SAE International**, USA, 1997.

WILLIAMS M.; ATTRIDGE, A.; TENNANT, C. Achieving Craftsmanship Targets across the UK Automotive Supply Base, through the use of Quality Maturation Tools and Processes. **SAE International**, UK, 2005

YANG, Kai; EL-HAIK, Basem. **Projeto para Seis Sigma: um roteiro para o desenvolvimento do produto**. Tradução J. G. Buchaim, Pedro R. Bueno Neto, Candido Fraga. São Paulo: Educator, 2008.

ZHANG, Bo; PLONKA, Francis E. Integrated Dimensional Variation Analysis Method for Robust Process Design. **SAE International**, USA, 2006.

## APÊNDICE A – Tabela de não-conformidades do Veículo X categorizadas por modo de falha

(continua)

#	Descrição da não-conformidade	Tipo	Causa	Modo de Falha
1	Interferência entre a flange da Travessa Traseira do Teto e o Pilar D, com alto potencial de causar ruído	Design	Condições não analisadas na Fase de Projeto Detalhado do produto. Mesmo com as peças dentro de suas tolerâncias permissíveis e capacidade do processo de montagem aceitável, as não-conformidades podiam ocorrer, pois o projeto não era robusto as variações dimensionais	<u>Modo de Falha 01</u> Não definir requisitos dimensionais para determinados atributos do veículo
2	Folga excessiva entre a flange da Travessa Traseira do Teto e o Pilar D, dificultando a vedação da interface, possibilitando entrada de água e poeira			
3	Interferência da carcaça da Buzina com o Farol			
4	Folga excessiva entre a Guarnição lateral do Porta Malas e o Carpete, possibilitando a perda de objetos			
5	Folga excessiva entre a Guarnição da Caixa de Rodas e o Carpete, possibilitando a perda de objetos			
6	Folga entre o Painél Interior da Tampa do Porta-Malas (sheet-metal) e sua Guarnição, causando má qualidade estética			
7	Interferência entre o suporte da PCM e o Reservatório de Óleo do Freio, levando a uma montagem forçada, que pode vir a ocasionar quebra dos Peças durante o uso do veículo			
8	Interferência entre a Trava do Capô e a Grade do Pára-choque, gerando alto número de retrabalho e scraps			
9	Não cumprimento dos requisitos dimensionais funcionais de espaçamento entre os Pedais do Acelerador e do Freio, e também da Embreagem para o descanso de pé			
10	Folga excessiva entre o Painel de Instrumentos e a Guarnição Interna do Coluna Dianteira, em ambos os lados, causando má qualidade estética	Design	Condições que pareciam aceitáveis na fase de Projeto Detalhado, não foram durante as avaliações dos protótipos	<u>Modo de Falha 02</u> Sub/Super dimensionar os requisitos do veículo
11	Folga não constante entre o Painel de Instrumentos e a Guarnição Interna da Coluna Dianteira, em ambos os lados, causando má qualidade estética			
12	Folga excessiva entre a cobertura do Console e o compartimento do Freio de Mão, causando má qualidade estética e possibilidade de perda de objetos, como moedas, canetas, etc			
13	Má qualidade percebida no alinhamento entre o capô e o pára-choque dianteiro	Design	Possibilidade de leitura do alinhamento entre as peças de diferentes ângulos de visão	<u>Modo de Falha 03</u> Não avaliar/validar o(s) conceito(s) de design em relação a sensibilidade devido a variação dimensional
14	Não cumprimento dos requisitos dimensionais estéticos de folga e nivelamento das Portas	Design	Desconhecimento de dados de capacidade históricos de processos de montagem similares	<u>Modo de Falha 04</u> Não avaliar/validar potenciais pré-requisitos para cumprir os requisitos dimensionais
15	Montagem da Carroceria fora do dimensional	Manufatura		

## APÊNDICE A – Tabela de não-conformidades do Veículo X categorizadas por modo de falha

(continuação)

#	Descrição da não-conformidade	Tipo	Causa	Modo de Falha
16	Interferência entre o Capô e o Pára-lama (ambos os lados), danificando a pintura das peças durante a abertura e fechamento do Capô	Design	Verificado que o requisito não poderia ser cumprido na fase de Projeto Detalhado, no entanto o projeto foi aprovado assim mesmo	<u>Modo de Falha 05</u> Aprovar o projeto sem cumprir determinados requisitos dimensionais
17	Folga muito grande entre o Farol e a Grade do Pára-choque dianteiro, permitindo a visibilidade de componentes do Radiador			
18	Não travamento do Banco Traseiro			
19	Mau alinhamento da Tampa do Porta-Malas em relação as colunas traseiras (direita e esquerda) - maior percepção nos cantos superiores	Design	Região de alta sensibilidade a variação dimensional	<u>Modo de Falha 06</u> Mudar os requisitos sem avaliar o impacto para o consumidor
20	Mau alinhamento entre o Pára-Brisa e o Teto	Design	Incompatibilidade de localizadores e/ou tolerâncias entre o projeto das peças e o que havia sido simulado nos modelos dimensionais	<u>Modo de Falha 07</u> Liberar projetos de peças sem seguir as considerações feitas nas análises de simulação dimensional
21	Mau posicionamento do Painel de Instrumentos na Carroceria			
22	Folga entre Guarnições da Porta fora de especificação			
23	Sombreamento entre furos do Painel da Estrutura Frontal e o seu Isolador, impossibilitando a montagem do I-shaft			
24	Interferência entre a Guarnição do "Front Quarter Glass" e o Pára-lama, causando ondulações na Guarnição, demeritando a qualidade estética do veículo			
25	Folga excessiva entre os Peças do Console, causando má qualidade estética			
26	Folga excessiva entre a Tampa do Porta-Luvas e o Painel de Instrumentos, provocando má qualidade estética			
27	Folga excessiva entre a moldura da Soleira e o Pára-Lama, provocando defeito estético			
28	Não cumprimento dos requisitos dimensionais de folga e nivelamento da Lanterna com suas peças adjacentes			
29	Não travamento do Banco Traseiro			
30	Moldura da lateral da Carroceria não atinge os requisitos de folga e nivelamento para suas peças adjacentes, causando má qualidade estética			

## APÊNDICE A – Tabela de não-conformidades do Veículo X categorizadas por modo de falha

(continuação)

#	Descrição da não-conformidade	Tipo	Causa	Modo de Falha
31	Impossibilidade de montar o Pára-Lama alinhado em relação a lateral da Carroceria, assim como o Capô em relação ao Pára-Lama	Manufatura	Dispositivos de montagem não representativos em relação ao que havia sido simulado nos modelos dimensionais, não garantindo a montagem adequada das peças	<u>Modo de Falha 08</u> Liberar projetos de métodos de montagem, sem seguir as considerações feitas nas análises de simulação dimensional
32	Conjunto do Assoalho (estrutura frontal, assoalho dianteiro e traseiro) montado desalinhado			
33	Vibração da suspensão fora das condições aceitáveis			
34	Condição de toque entre a Caixa de Roda e Peças da Suspensão			
35	Não cumprimento dos requisitos dimensionais funcionais da Suspensão Dianteira (caster e camber), impactando conforto de dirigibilidade do motorista			
36	Interferência da Tampa do Porta-malas com o Teto, danificando a pintura das peças durante a abertura e fechamento da Tampa	Manufatura	Dimensional da Carroceria fora da especificação de tolerâncias - não detectado previamente devido a falta de pontos de controle no Plano de Medição	<u>Modo de Falha 09</u> Criar Planos de Medição incompatíveis com as saídas das simulações dimensionais
37	Não cumprimento dos requisitos estéticos de folga e nivelamento em toda a interface da Tampa do Porta-malas			
38	Interferência do Motor com a Linha do Ar-condicionado, durante a montagem do Motor, podendo danificar o Peça			
39	Não cumprimento dos requisitos dimensionais funcionais da Suspensão Dianteira (caster e camber), impactando conforto de dirigibilidade do motorista			

## APÊNDICE A – Tabela de não-conformidades do Veículo X categorizadas por modo de falha

(continuação)

#	Descrição da não-conformidade	Tipo	Causa	Modo de Falha
40	Folga excessiva entre os Painéis Dianteiro e Traseiro do Assoalho na região central, possibilitando vazamento de ar e entrada de água	Manufatura	Dimensional de Peças e Subconjuntos fora da especificação de tolerâncias	Modo de Falha 10 Validação dimensional inadequada de peças e subconjuntos (end-items)
41	Folga entre o Assoalho e a Soleira, possibilitando entrada de água e poeira			
42	Mau alinhamento entre o Pilar D e o "Quarter Panel"			
43	Impossibilidade de acoplamento do Pilar D esquerdo ao Painel Traseiro			
44	Folga na junção da Porta com o Isolador, podendo causar ruído no interior do veículo, entrada de água e poeira e mau acabamento			
45	Folga excessiva entre as Guarnições do Teto e dos Pilares A-B-C, causando má qualidade estética do veículo, facilmente percebida pelos consumidores	Fornecedor		
46	Interferência entre a Capa da Alavanca de Reclino do Banco Traseiro (lado direito) e a Guarnição da Caixa de Roda, impossibilitando ajuste do Banco			
47	Interferência entre a Grade do Capô e a extensão da coluna dianteira da lateral da Carroceria			
48	Mau acoplamento do "Front Scuff Plate" na parte inferior do Pilar B			
49	Capa do Puxador da Porta Trazeira sobreposto ao Substrato da Porta Dianteira			
50	Folga excessiva entre o Suporte de Garrafa e o Substrato da Porta Dianteira			
51	Registradores de ambos os lados sobrepostos ao Painel de Instrumentos			
52	Lanterna Traseira não atinge os requisitos de folga e nivelamento contra os Peças adjacentes, Lateral da Carroceria, provocando má qualidade estética			
53	Mau ajuste do Pára-Choque ao Pára-Lama, provocando má qualidade estética			
54	Folga excessiva entre a Grade do Capô e o Pára-Brisa			
55	Interferência entre a Grade do Capô e o Capô			

## APÊNDICE A – Tabela de não-conformidades do Veículo X categorizadas por modo de falha

(conclusão)

#	Descrição da não-conformidade	Tipo	Causa	Modo de Falha
56	Impossibilidade de montar a Tampa do Porta-malas no vão entre as Colunas Traseiras da Carroceria	Manufatura	Ausência de pontos de medição significativos no Plano de Medição	<u>Modo de Falha 11</u> Controle dimensional inadequado durante a montagem do produto
57	Folga excessiva entre a flange de solda do suporte do Pára-lama e a Carroceria			
58	Folga excessiva entre o Painél do Teto e os reforços das colunas traseiras (direita e esquerda), possibilitando entrada de água			
59	Sombreamento entre furos e porcas de fixação do Banco Traseiro, causando dificuldade de montagem e impossibilidade de aplicar o torque mínimo requerido para fixação do Banco			
60	Dificuldade de encaixe do Subframe no Assoalho - sombreamento dos furos de fixação			
61	Mau alinhamento do Painel Traseiro na Carroceria, apresentando erro de paralelismo de 5mm do lado esquerdo para o direito, podendo afetar o posicionamento final do Pára-Choque Traseiro	Design	Modelo de simulação dimensional não representativo, devido a fatores de variação dimensional não avaliados ou mudanças de processo não incorporadas	<u>Modo de Falha 12</u> Não validar o modelo dimensional em relação ao processo de montagem
62	Desnivelamento do Pára-Choque Traseiro em relação as peças adjacentes, causando má qualidade estética			
63	Dificuldade de montagem do Farol: interferência da lente com o Pára-Lama			
64	Farol não atinge os requisitos de folga e nivelamento contra peças adjacentes: Pára-Lama, Pára-Choque e Capô			

Fonte: Dados extraídos do banco de dados de não-conformidades da Alfa Motors, referente ao veículo X

## APÊNDICE B – Tabela de não-conformidades do Veículo Y

(continua)

	Peça afetada	Problema	Comentário do Consumidor
1	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REV. PUERTA DELANTERA DERECHA DESAJUSTADA.
2	PORTA	AJUSTE INCORRETO	02 PORTA DIANT LD E PARA LAMA DESALINHADO
3	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	PORTA DIANTEIRA LD,PORTA TRASEIRA,PARALAMA DIANTEIRO LD,COLUNA LD E LANTERNA TRASEIRA LE DESALINHADOS
4	PARA-LAMA	DESALINHADO	PARA LAMA L/E DESALINHADO
5	PORTA	AJUSTE INCORRETO	CLIENTE ALEGA QUE A PORTA TRASEIRA LADO DIREITO ESTADESALINHADA E DANIFICOU A PINTURA
6	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS DIANT. L.D E L.E DESALINHAS
7	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	TAMPA TRASEIRA DESALINHADA
8	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTAS DELANTERA Y LA PUERTA TRASERA DERECHA DESCUADRADAS
9	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTAS DELANTERAS DESCUADRADAS
10	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA D.D. NO CIERRA,REGULAR ESCUADRAR Y ALINEAR PUERTA D.D.,DESENCUADRADA. 2 PORTON TRASERO TRABADO REGULAR ESCUADRAR Y ALINEAR PORTON,DESENCUADRADO.
11	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA D.D. NO CIERRA,REGULAR ESCUADRAR Y ALINEAR PUERTA D.D.,DESENCUADRADA. 2 PORTON TRASERO TRABADO REGULAR ESCUADRAR Y ALINEAR PORTON,DESENCUADRADO.
12	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA DESCUADRADA
13	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	1 CAPOT TRABADO,COLOCAR CABLE DE CERRADURA APETURA CAPOT,SALIDO NO ABRE. 2 PUERTA T.I. NO CIERRA BIEN,ESCUADRAR,PUERTA T.I.,DESENCUADRADO NO CIERRA BIEN.
14	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 CAPOT TRABADO,COLOCAR CABLE DE CERRADURA APETURA CAPOT,SALIDO NO ABRE. 2 PUERTA T.I. NO CIERRA BIEN,ESCUADRAR,PUERTA T.I.,DESENCUADRADO NO CIERRA BIEN.
15	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	PORTA DIANTEIRA LE E TAMPA TRASEIRA DESALINHADAS
16	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1: PUERTA TRASERA DERECHA CIERRA MAL: PUERTA DESAJUSTADA, REGULAR.
17	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA D.D.NO CIERRA BIEN,ESCUADRAR,DESENCUADRADA CIERRA MAL. 2 PUERTA T.I. NO CIERRA BIEN, ESCUADRAR,DESENCUADRADA,CIERRA MAL. 3 PORTON TRASERO TRABADO,ESCUADRAR,DESENCUADRADO.
18	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA D.D.NO CIERRA BIEN,ESCUADRAR,DESENCUADRADA CIERRA MAL. 2 PUERTA T.I. NO CIERRA BIEN, ESCUADRAR,DESENCUADRADA,CIERRA MAL. 3 PORTON TRASERO TRABADO,ESCUADRAR,DESENCUADRADO.
19	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA D.D.NO CIERRA BIEN,ESCUADRAR,DESENCUADRADA CIERRA MAL. 2 PUERTA T.I. NO CIERRA BIEN, ESCUADRAR,DESENCUADRADA,CIERRA MAL. 3 PORTON TRASERO TRABADO,ESCUADRAR,DESENCUADRADO.
20	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA DESCUADRADA
21	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA Y COMPUERTA TRASERA DESCUADRADAS
22	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA IZQUIERDA Y COMPUERTA TRASERA DESCUADRADAS
23	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA IZQUIERDA Y COMPUERTA TRASERA DESCUADRADAS
24	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PORTON TRASERO TRABADO,ESCUADRAR,ALINEAR Y REGULAR PORTON,DESENCUADRADO. 2 PUERTA D.I. NO CIERRA BIEN,ESCUADRAR ALINEAR Y REGULAR PTA.D.I.,DESENCUADRADA.
25	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	CAPÔ DO MOTOR DESALINHADO COM FAROES
26	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS DESALINHADAS.
27	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	TAMPA TRASEIRA DESALINHADA E PEGANDO NA PARTE INFERIOR DO PARACHOQUE.

## APÊNDICE B – Tabela de não-conformidades do Veículo Y

(continuação)

	Peça afetada	Problema	Comentário do Consumidor
28	PARA-LAMA	DESALINHADO	02/ PARALAMA DESALINHADO COM VAO MUITO GRANDE
29	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA TRASEIRA LADO ESQUERDO DESALINHADA
30	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA TRASEIRA LADO DIREITO DESALINHADA
31	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DEL IZQ NO ABRE DE ADENTRO Y CUESTA MUCHO DE AFUERA. SE ENCONTRO PTA DEL IZQ. DESREGULADA SE REGULO PUERTA Y SE PROBO DESDE ADENTRO
32	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS TRASEIRAS DESALINHADAS.
33	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1) PUERTA TRASERA DERECHA CIERRA MAL. QUEDA UNA LUZ DE DIFERENCIA. ALINEAR.
34	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	PORTA DO PORTA MALAS DIFICL DE FECHAR
35	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA TRASEIRA LADO DIREITO COM DIFICULDADE DE FECHAR E PORTA DIANTEIRA LADO ESQUERDO TREPIDANDO AO ABRIR.
36	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1) PUERTA DELANTERA IZQUIERDA, CIERRA MAL. QUEDA UNA LUZ DE DIFERENCIA. ALINEAR.
37	PORTA	AJUSTE INCORRETO	LUZ DE INTERIOR NO FUNCIONA , REEMPLAZAR INTERRUPTOR INOPERANTE**PUERTA TRASERA IZQUIERDA ROSA AL ABRIR CON DELANTERA AL ABRIR SE ALINEA **
38	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	CONTROL DE PORTON TRASERO DEALINEADO / ALINEACION DE PORTON TRASERO
39	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR PUERTA TRASERA IZQ ESTA DESCOLGADA SE DETECTA PUERTA TRASERA IZQUIERDA DESALINEADA, IMPIDIENDO CERRARLA CORRECTAMENTE SE REALIZA REGULACION DE PUERTA Y BISAGRAS TRASERA IZQUIERDA TEST FI
40	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	1 CAOT SE SALTA LA 1RA. TRABA AL ANDAR. SE ENVIO A TARCEROS, SE ALINEO CAPOT Y FRENTE, SEGUN F A 6370 \$ 70.
41	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR FALLA EN 800 RPM SE DETECTA LECTURA ERRONEA EN VALVULA DE PASO A PASO SE DESMONTA VALVULA DE PASO A PASO Y SE REPROGRAMA MODULO REVISAR PUERTA TRASERA DERECHA SE NOTA DESCOLGADA SE DETECTA
42	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTAS TRASERAS CAIDAS / ALINEACION DE PUERTAS TRASERAS
43	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	PORTON TRASERO DESALINEADO. PORTON MAL ALINEADO Y FLOJO DE FABRICA. AJUSTAR Y ALINEAR PORTON TRASERO
44	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA DIANTEIRA LADO ESQUERDO ESTA DESALINHADA.
45	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTAS DELANTERAS CAIDAS. SE ALINEO AMBAS PUERTAS DELANTERAS. 2 PORTON TRASERO CAIDO. SE ALINEO PORTON. 3 RUIDO AL FRENAR. SE REALIZO INSPECCION DE FRENOS TRASEROS, SE REGULO CINTAS. 4 LUCES
46	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTAS DELANTERAS CAIDAS. SE ALINEO AMBAS PUERTAS DELANTERAS. 2 PORTON TRASERO CAIDO. SE ALINEO PORTON. 3 RUIDO AL FRENAR. SE REALIZO INSPECCION DE FRENOS TRASEROS, SE REGULO CINTAS. 4 LUCES
47	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA TRASERA DERECHA FUERA DE ESCUADRA. AMBAS PUERTAS LADO DERECHO ALINEAR. 2 TABLERO TIENE MUCHA LUZ DEL LADO IZQUIERDO. TABLERO MAL ARMADO DE FABRICA. SE DESMONTO TABLERO Y SE ALINEO CORRE
48	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA TRASERA DERECHA FUERA DE ESCUADRA. AMBAS PUERTAS LADO DERECHO ALINEAR. 2 TABLERO TIENE MUCHA LUZ DEL LADO IZQUIERDO. TABLERO MAL ARMADO DE FABRICA. SE DESMONTO TABLERO Y SE ALINEO CORRE
49	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	1 MOTOR SE ACELERA AL PASAR LOS CAMBIOS,REPROGRAMAR PCM PARA ELIMINAR FALLA DE MOTOR, S:29100000 0.3,29101100 0.3,29101200 0.2,29102200 0.2. 2 ALINEAR CAPOT FUERA DE LINEA,DESENCUADRADO.
50	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	REVISAR CAPS, FUERA DE LINEA, VIBRA MUCHO AL ANDAR SE DETECTA CAPS DESALINEADO SE REALIZA REGULACION DE CAPS REVISAR RUIDO EN PUERTAS SE DETECTAN PUERTAS DELANTERAS DESALINEADAS, DESCUADRADAS. PRO

## APÊNDICE B – Tabela de não-conformidades do Veículo Y

(continuação)

	Peça afetada	Problema	Comentário do Consumidor
51	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR PUERTA DELANTERA IZQUIERDA, SE MUEVEN MUCHO AL ABRIRLAS SE DETECTA PUERTA DELANTERA IZQUIERDA MAL AJUSTADA, DESREGULADA SE REALIZA REGULACION Y AJUSTE DE PUERTA DELANTERA IZQUIERDA TEST FIN
52	PORTA	AJUSTE INCORRETO	CONTROL DE PUERTA LADO CONDUCTOR FALSA ESCUADRA / SE REALIZO UNA ALINEACION DE LA PUERTA LADO CONDUCTOR
53	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	CAPÔ DO MOTOR DESALINHADO COM FAROES
54	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA D.D. AL ABRIR SE CAE,DESALINEADA,REGULAR,ALINEAR Y ESCUADRAR,DESENCUADRADA,SE CAE.
55	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 NO CIERRA BIEN PORTON TRASERO. SE REGULA Y ALINEA 2 DEFERENCIA DE LINEA ENTRE PUERTA Y GUARDABARRO DELANT DERECHO. SE ALINEA PUERTA 3 PINTURA FLORECIDA EN LATERAL IZQ, IMPUREZAS BAJO BARNIZ
56	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR PORTON TRASERO ESTA CAIDO Y LAS PUERTAS CUSTAN MUCHO QUE CIERREN BIEN ESTAN FUERA DE LINEA SE DETECTA PUERTAS Y PORTON TRAS FUERA DE LINEA SE REALIZA ENCUADRE Y ALINEACION DE LAS 4 PUERTAS
57	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA TRASERA DERECHA NO CIERRA, PUERTA DESENCUADRADA, AFLOJAR BISAGRAS ENCUADRAR RERSPECTO DE LA CARROCERIA. TT 0,6 AUTORIZACION POR TIEMPO EXTRA TALLER. JL 7446 2 PORTON TRASERO NO CIERRA BI
58	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA TRASERA DERECHA NO CIERRA, PUERTA DESENCUADRADA, AFLOJAR BISAGRAS ENCUADRAR RERSPECTO DE LA CARROCERIA. TT 0,6 AUTORIZACION POR TIEMPO EXTRA TALLER. JL 7446 2 PORTON TRASERO NO CIERRA BI
59	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA DEL CAIDA SE ESCUADRO LA MISMA Y LUEGO SE LUBRICARON .
60	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PTA DEL DER E IZQ Y TRAS DER FUERA DE ESCUADRA SE SCUADRO PTAS DELS Y PTA TRAS DER POR TERCERO FACT 1 3506
61	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR LAS PUERTAS ESTAN MAL ALINEADAS Y SE MUVEN MUCHO AL ABRIR SE DETECTAN LAS 4 PUERTAS FUERA DE LINEA Y CON MUCHA VIBRACION AL ABRIR SE REALIZA ALINEACION Y AJUSTE DE PUERTAS TAMBIEN SE REALIZ
62	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	FENDAS DA TAMPA TRASEIRA DESALINHADAS
63	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA TRASEIRA ESQUERDA COM FENDAS DESALINHADAS
64	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA TRASEIRA DIREITA COM FENDAS DESALINHADAS
65	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR BUTACA DE CONDUCTOR NO CORRE BIEN SE DETECTA CORREDERA DE ASIENTO DEL CONDUC DESAJUSTADA Y DESALINEADA, PROV DESPLAZAMIENTO INCORRECTO SE ALINEA Y REAJUSTA CORREDERA DE BUTACA DELANTERA IZQU
66	TAMPA TRASEIRA	ESFORCO EXCESSIVO	1 PORTON TRAS CUESTA CERRAR SE AJUSTO PORTON TRAS.
67	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS TRAZEIRAS ESTAO DESALINHADAS
68	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 PORTON TRABADO,ESCUADRAR Y ALINEAR PORTON,DESENCUADRADO NO ABRE CORRECTAMENTE. 2 PUERTA D.D.NO CIERRA BIEN,ESCUADRAR Y ALINEAR PUERTA D.D.,DESENCUDADRADA,NO CIERRA BIEN.
69	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PORTON TRABADO,ESCUADRAR Y ALINEAR PORTON,DESENCUADRADO NO ABRE CORRECTAMENTE. 2 PUERTA D.D.NO CIERRA BIEN,ESCUADRAR Y ALINEAR PUERTA D.D.,DESENCUDADRADA,NO CIERRA BIEN.
70	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA TRASERA DERECHA FUERA DE LINEA SE VERIFICA UNIDAD Y SE REGULA PUERTA TRASERA DERECHA UNIDAD OK.
71	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1)PTA DEL DER, RUIDOSA, SE ENCONTRO PTA DESALINEADA, ALINEAR 2) PORTON TRASERO CUESTA ABRIR Y CERRAR, ESTA CAIDO, PORTON TRASERO DESALINEADO, ALINEAR
72	BATENTE DO CAPÔ	DESALINHADO	01 TAMPA DIANTEIRA DESALINHADA E DIFICIL DE ABRIR
73	VEICULO	DESALINHADO	EX. VEICULO PUXANDO PARA DIREITA .

## APÊNDICE B – Tabela de não-conformidades do Veículo Y

(continuação)

	Peça afetada	Problema	Comentário do Consumidor
74	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	1 AJUSTAR PORTON TRASERO RUIDOSO 2 ALINEAR CAPOT, FUERA DE LINEA RESPECTO A GUARDABARROS DELANTEROS Y OPTICAS
75	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1) PTAS TRASERAS CUESTAN CERRAR Y REBOTAN AL ABRIR. PTAS TRASERAS DESALINEADAS. ALINEAR 2)PTAS DELANTERAS ABIERTAS ABIERTAS EN LOS PARANTES PTAS DESALINEADAS, ALINEAR 3) RUIDO ASIENTO EN RUTA, SE EN
76	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REGULACION DE LAS 4 PUERTAS, MAL ALINEADAS SE VERIFICA FALTA DE ALINEACION DE PUERTAS, SE DETECTA JUEGO EN BISAGRAS DE PUERTA DELANTERA Y TRASERA DERECHA ACCION : SE PINTAN BISAGRAS COLOR CARROCER
77	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA, PTA DEL IZQ PTA TRAS IZQ Y COMPUERTA TRASERA DESCUADRADAS
78	PORTA	AJUSTE INCORRETO	CAPOT LAS DOS PUERTAS DERECHAS Y COMPUERTA TRASERA DESCUADRADAS
79	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	CAPOT PUERTA DELANTER DERECHA, PTA DEL IZQ DESCUADRADAS
80	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	CAPOT PUERTA DELANTER DER, PTA TRAS IZQ, COMPUERTA TRASERA DESCUADRADAS
81	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA, PTA TRAS DER, DEL IZQ, COMPUERTA DESCUADRADAS
82	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	CAPOT PTAS DERECHAS Y COMPUERTA TRASERAS DESCUADRADAS
83	PORTA	AJUSTE INCORRETO	LAS CUATRO PUERTAS Y COMPUERTA TRASERAS DESCUADRADAS
84	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA, PUERTA DEL IZQ PTA TRAS DER OMPUERTA DESCUADRADAS
85	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA NO CIERRA BIEN / AJUSTAR TRABA DE ENGANCHE DE PESTILLO DE CERRADURA / BALERDI FERMIN
86	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTAS TRASERAS SE MONTAN AL CERRAR SE PROCEDE A REGULAR DESDE BISAGRAS LAS PUERTAS TRASERAS Y SE LUBRICO NO FUNCIONA CIERRE CENTRALIZADO DE PUERTA TRASERA DERECHA SE DETECTA FALLA EN SENSOR DE
87	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REGULAR PUERTA TRASERA DERECHA Y DELANTERA DERECHA SE OBSERVA LAS PUERTAS DEL LADO DERECHO FUERA DE LINEA ROZAN AL ABRIR SE REALIZA REGULACION DE PUERTAS DEL LADO DERECHO TEST FINAL OK
88	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 PORTON TRASERO DESALINEADO. SE ALINEO PORTON. 2 PARAGOLPE DELANTERO FUERA DE LINEA. SE DESMONTA PARAGOLPE Y SE REACOMODO. 3 FILTRACION DE VIENTO POR PUERTAS TRASERAS. SE ALINEARON AMBAS PUERTAS
89	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS TRASEIRAS L.D E L.E DESALINHADAS.
90	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	1 CAPOT NO CIERRA BIEN SE REGULO Y AJUSTO ELMISMO QUEDANDO OK.
91	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	1 CAPO DESALINHADO
92	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1) EL PORTON TRASERO CIERRA MAL, ESTA FUERA DE LINEA. ALINEAR PORTON.
93	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	TOCA EL PORTON TRASERO CON EL PLASTICO DE PARAGOLPE TRASERO. TAPA DE PORTON TRASERO FUERA DE REGISTRO TOCA CON EL PARAGOLPE. FACTURA DE TERCEROS POR ALINEAR PORTON TRASERO Y PARAGOLPE
94	PARA-LAMA	DESALINHADO	PARALAM DIANTEIRO LADO ESQUERDO DESALINHADO
95	PORTA	AJUSTE INCORRETO	RUIDO EN TODAS LAS PTAS SE REGULA TODAS LAS PUERTAS Y SE CONTROLA LOS BURLETES , ADEMAS SE LUBRICA LAS MISMAS TT 1.2
96	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1) LAS DOS COLIZAS DE VIDRIO DE PTAS DELANTERAS ESTAN DEFORMADAS EN LA PARTE SUPERIOR. REEMPLAZAR. 2) ESPEJO RETROVISOR IZQ NO REGULA HACIA ARRIBA. REEMPLAZAR. 3) PARLANTE DE PTA DEL IZQ SUENA MAL
97	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1) REGULAR PORTON. PORTON DESALINEADO. SE REGULA. 2) CAMBIOS NO ENTRAN BIEN. SE REGULA SELECTORA.

## APÊNDICE B – Tabela de não-conformidades do Veículo Y

(continuação)

	Peça afetada	Problema	Comentário do Consumidor
98	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PORTON TRASERO TRABADO,ESCUADRAR Y ALINEAR PORTON,NO ABRE CORRECTAMENTE. 2 PUERTA D.D. NO CIERRA BIEN,ALINEAR Y ESCUADRAR PUERTA D.D.,DESENCUADRADA NO ABRE CORRECTAMENTE.
99	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	CAPO DIANTEIRO DESALINHADO
100	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA TRASEIRA LADO DIREITO DESALINHA COM PARA LAMA
101	PORTA	AJUSTE INCORRETO	CLIENTE RECLAMA QUE AS PORTAS DO VEICULO ESTAO DESAVINHADAS
102	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR PUERTA TRASERA DERECHA E IZQUIERDA DELANTERA, NO CIERRAN BIEN. SE DETECTA PTA DELANT IZQ Y TRASERA DERECHA, DESCUADRADAS, FUERA DE LINEA, IMPIDIENDO CERRAR CORRECTAMENTE. SE REALIZA ALINEACI
103	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR PUERTA TRASERA DERECHA E IZQUIERDA DELANTERA, NO CIERRAN BIEN. SE DETECTA PTA DELANT IZQ Y TRASERA DERECHA, DESCUADRADAS, FUERA DE LINEA, IMPIDIENDO CERRAR CORRECTAMENTE. SE REALIZA ALINEACI
104	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR PUERTAS, NO CIERRAN BIEN. SE DETECTAN PUERTAS FUERA DE LINEA, DESREGULADAS, NO PERMITEN CERRAR CORRECTAMENTE. SE REALIZA ALINEACION Y REGULACION DE PUERTAS DELANTERAS Y TRASERAS. REVISAR CO
105	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1/ PUERTA TRASERA DERECHA NO CIERRA BIEN,SE VERIFICA PUERTA FALSA ESCUADRA,SE REGULA Y ESCUADRA LA MISMA. 2/ ESPEJO IZQUIERDO VIBRA,SE VERIFICA ESPEJO QUE VIBRA,SE SUSITTUYE EL MISMO.
106	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PTA DELANTERA IZQUIERDA, PUERTA TRASERA IZQUIERDA Y COMPUERTA TRASERA DESCUADRADA
107	PORTA	AJUSTE INCORRETO	LAS DOS PUERTAS DELANTERAS, CAPOT Y COMPUERTA TRASERAS DESCUADRADAS
108	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA Y COMPUERTA TRASERA DESCUADRADAS
109	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA D.D CUESTA CERRAR, SE ENCONTRO PUERTA D.D CAIDA FLOJA, SE REGULO PUERTA Y SE AJUSTO PERNO DE BISAGRAS
110	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA DESALINHADA L.D
111	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS L/D E L/E,E CAPO DO MOTOR ESTAO DESALINHADOS
112	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA TRASERA DESALINEADA. SE REGULA Y ALINEA PUERTA TRASERA DERECHA
113	PAINEL LATERAL	PREOCGRAV.AJUST.A CAB	FENDAS DA PARTE TRASEIRA DO VEICULO DESALINHADAS
114	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA TRASEIRA DESALINHADO EM RELACAO A DIANTEIRA
115	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA CAIDA. SE VERIFICA Y SE REGULA LA PUERTA.
116	PORTA	AJUSTE INCORRETO	MORENO 1 LAS PUERTAS TRASERAS ESTAN CAIDAS SE OBSERVA DESALINEACION EN PUERTAS TRASERAS REALINEAR PUERTAS. (AMBAS).
117	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	REGULAR PORTON TRASERO. SE REGULA PORTON DESALINEADO.
118	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1)PUERTAS DELANTERAS Y TRASERAS CON RUIDO, DESAJUSTADAS, ALINEAR TODAS
119	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1)PUERTAS DELANTERAS Y TRASERAS CON RUIDO, DESAJUSTADAS, ALINEAR TODAS
120	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 TAMPA TRASEIRA COM DIFICULDADE PARA FECHAR
121	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 TAPA DE BAUL DURO PARA CERRAR. PORTON TRASERO FUERA DE LINEA. SE AJUSTO PORTON TRASERO 2 VIBRACION, OSCILA VOLANTE. TREN DELANTERO Y CAJA DE DIRECCION FLOJOS. SE AJUSTO TREN DELANTERO Y CAJA
122	PARA-LAMA	DESALINHADO	PORTAS DIANTEIRAS DESALINHADAS EM RELACAO AOS PARA LAMAS DIANTEIROS.
123	PORTA - STRIKER	DANIFICADO	1)PUERTA TRASERA DERECHA REBOTA AL SER ACCIONADA PARA CERRAR RETEN INTERNO DE CERRADURA ROTO E INUTILIZADO REEMPLAZAR.

## APÊNDICE B – Tabela de não-conformidades do Veículo Y

(continuação)

	Peça afetada	Problema	Comentário do Consumidor
124	PORTA	AJUSTE INCORRETO	TRAQUETEJO EN PUERTAS DELANTERAS Y EN GRAL. POR CAMINOS DESPAREJOS SE REGULA Y AJUSTA PUERTAS TRASERAS Y TAPIZADOS DE AMBAS PUERTAS
125	PARA-LAMA	DESALINHADO	PARALAMA ESTA DESALINHADO.
126	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 REGULAR PUERTA TRASERA TODAS, SE ENCONTRARON PUERTAS TRASERAS DESALINEADAS, SE ALINEARON TODAS LAS PUERTAS.
127	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 REGULAR PUERTA TRASERA TODAS, SE ENCONTRARON PUERTAS TRASERAS DESALINEADAS, SE ALINEARON TODAS LAS PUERTAS.
128	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTAS LADO IZQUIERDO DESALINEADAS. SE VERIFICO PUERTAS FLOJAS, DESALINEADAS. SE ALINEARON PUERTAS LADO IZQUIERDO
129	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS DIANTEIRAS DESALINHADAS
130	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS TRASEIRAS DESALINHADAS
131	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTAS DESREGULADAS SE REGULARON LAS CUATRO PUERTAS EN TERCERO. ADJUNTO COPIA FACTURA
132	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 PORTON TRASERO TRABADO ESCUADRAR ALINEAR Y REGULAR PORTON,DESENCUADRADO. 2 PUERTA TRASERA DERECHA NO CIERRA BIEN,ESCUADRAR,ALINEAR Y REGULAR PUERTA T.D.,DESENCUADRADA.
133	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PORTON TRASERO TRABADO ESCUADRAR ALINEAR Y REGULAR PORTON,DESENCUADRADO. 2 PUERTA TRASERA DERECHA NO CIERRA BIEN,ESCUADRAR,ALINEAR Y REGULAR PUERTA T.D.,DESENCUADRADA.
134	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS TRAS. ESTAO DESALINHADAS E RASPANDO NAS DIANT.
135	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR VIDRIO DE PTA TRAS DER SE MUEVE AL BAJAR, VIBRA EN MOVIM SE DETECTA JUEGO EN MEC ALZA CRISTAL TRS DER SE SUST ALZA CRISTAL TRS DER REVISAR ESPEJO RETROV DER SE MUEVE MUCHO AL ANDAR SE DETE
136	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	1 AIRE ACONDICIONADO NO FUNCIONA. SE VERIFICO PERDIDA POR ORING DEL TUBO DEL CONDENSADOR. SE REPARO PERDIDA SE CARGO AIRE ACONDICIONADO. 2 PORTON TRASERO RUIDOSO. SE VERIFICO PORTON TRASERO FLO
137	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 ALINEAR PUERTAS DERECHAS, MOLDURA DE PUERTA CONDUCTOR COLOCADA MUY ADELANTE RESPECTO A LA OTRA PUERTA, ALINEAR MOLDURA SUPERIOR CAPOT FIJA DESPEGADA, PARAGOLPE TRASERO Y MOLDURA LADO DERECHO RESPECT
138	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA DIANTEIRA ESQUERDA DESALINHADA
139	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA DIANTEIRA DIREITA DESALINHADA
140	PARA-LAMA	DESALINHADO	PARALAMAS ESTA DESALINHADO.
141	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR LAS 4 PUERTAS ESTAN FUERA DE LINEA Y EL PORTON TRASERO CUESTA CERRAR SE DETECTAN LAS PUERTAS Y PORTON TRASERO FUERA DE LINEA SE REALIZA ESCUADRE Y ALINEACION DE TODAS LAS PUERTAS Y PORTON T
142	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA L/ESQUERDO DIANTEIRA ESTA DESALINHADA
143	PORTA	AJUSTE INCORRETO	portas lado direito desalinhas
144	PORTA	AJUSTE INCORRETO	01 PORTAS DIANTEIRAS AMBOS LADOS DIFICIL DE ABRIR E FECHAR AJUSTAR EM RELACAO AOS PARALAMAS
145	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR EL PORTON TRASERO ESTA FUERA DE LINEA CUSTA ABRIR Y CERRAR SE DETECTA PORTON TRASERO FUERA DE LINEA DESCUADRADO SE REALIZO REGULACION ESCUADRE Y ALINEACION DE PORTON TRASERO TEST FINAL OK
146	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA Y PUERTA DELANTERA IZQUIERDA DESCUADRADAS
147	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA Y PTA DEL IZQ DESCUADRADAS
148	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA TRASERA DERECHA DESALINEADA ESCUADRAR Y ALINEAR PUERTA T.D.,DESENCUADRADA.
149	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 EL PORTON TRASERO NO ABRE Y HACE RUIDO. PORTON TRASERO DESALINEADO, FUERA DE POSICION Y CON CERRADURA TRABADA. SE LLEVO LA UNIDAD A CHAPISTA A CORREGIR POSICION DE PORTON TRASERO Y NORMALIZAR FUN

## APÊNDICE B – Tabela de não-conformidades do Veículo Y

(continuação)

	Peça afetada	Problema	Comentário do Consumidor
150	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA T/D DESALINHADA MARCANDO O BATENTE
151	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PEURTA TRASERAS DESALINEADAS / ALINEACION DE PUERTAS
152	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTAS LADO DERECHO FUERA DE LINEA. SE VERIFICO PUERTAS LADO DERECHO DESALINEADAS. SE ALINERAON PUERTAS LADO DERECHO. 2 GUARDABARRO DERECHO FUERA DE LINEA. GUARDABARRO DESALINEADO. SE ALINE
153	PARA-LAMA	DESALINHADO	1 PUERTAS LADO DERECHO FUERA DE LINEA. SE VERIFICO PUERTAS LADO DERECHO DESALINEADAS. SE ALINERAON PUERTAS LADO DERECHO. 2 GUARDABARRO DERECHO FUERA DE LINEA. GUARDABARRO DESALINEADO. SE ALINE
154	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	TAMPA DA MALA DURA DE ABRIR E FECHAR
155	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	VEICULO COM CAPUS DESALINHADO
156	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 PORTON TRASERO RUIDOSO. SE VERIFICO PORTON DESALINEADO. SE AJUSTO PORTON 2 ZUMBIDO EN INTERIOR DESPUES DE 100 KM/H. SE VERIFICO PUERTAS DELANTERAS Y TRASERAS DESALINEADAS. SE ALINEARON PUERTA
157	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PORTON TRASERO RUIDOSO. SE VERIFICO PORTON DESALINEADO. SE AJUSTO PORTON 2 ZUMBIDO EN INTERIOR DESPUES DE 100 KM/H. SE VERIFICO PUERTAS DELANTERAS Y TRASERAS DESALINEADAS. SE ALINEARON PUERTA
158	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUETAS DELANTERA Y TRASERA IZQUIERDA CAIDA / SE REALIZA ALINEACION DE PUERTAS
159	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA CONDUCTOR FUERA DE LINEA,ESCUADRAR Y ALINEAR PUERTA D.I.,DESENCUADRADA. 2 PORTON FUERA DE LUGAR,ESCUADRAR Y ALINEAR PORTON,DESENCUADRADO. 3 MANIJA COMPAQANTE EXTERIOR SE ESTA SALIENDO,COLOCAR
160	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTA CONDUCTOR FUERA DE LINEA,ESCUADRAR Y ALINEAR PUERTA D.I.,DESENCUADRADA. 2 PORTON FUERA DE LUGAR,ESCUADRAR Y ALINEAR PORTON,DESENCUADRADO. 3 MANIJA COMPAQANTE EXTERIOR SE ESTA SALIENDO,COLOCAR
161	PORTA	AJUSTE INCORRETO	ENTRADA DE TIERRA EN PUERTAS TRASERAS , CONTROLADA LA UNIDAD SE VERIFICA DESALINEACION DE TODAS LAS PUERTAS . ALINEACION DE LAS CUATRO PUERTAS . FACT. 3: N: 1 737 . \$ 800 S / IVA .
162	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 BURLETE PUERTA D.I. ROTO,S:20708A 0.3,43118A 0.2,BURLETE CONTORNO PUERTA D.I.ROTO X LA PUERTA AL ESTAR DESENCUADRADA, FUE NECESARIO ESCUADRAR,ALINEAR Y REGULAR PUERTA,DESENCUADRADA DAQO BURLETE CONT
163	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA TRAZEIRA DIREITA DESALINHADA
164	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 Guardabarro der e izq fuera de lugar, roce contra pta del der al abrir y cerrar pintar partes daqadas.pta del izq fuera de escuadra s/roce c/guardab. Se escuadrara la misma
165	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 ENTRA AGUA POR PUERTA ACOMPAQANTE Y MOJA BUTACA,ESCUADRAR Y ALINEAR PUERTA D.D., DESENCUADRADA ENTRA AGUA,S:43118A 0.2,5000A 0.4,63100AT 0.5,TT SECAR ALFOMBRAS 0.5. 2 MUCHO RUIDO EN PORTON TRASERO,E
166	PORTA	AMASSADO	PORTA TRASEIRA L.D., CAPÔ MOTOR E PARA LAMA DIANT. L.E.DESALINHADOS
167	PORTA	AJUSTE INCORRETO	VEICULO COM A PORTA DIANTEIRA LADO DIREITO DESALINHADA
168	PORTA	AJUSTE INCORRETO	VEICULO COM PORTA TRASEIRA LADO ESQUERDO DESALINHADA
169	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS DESALINHADAS
170	PORTA	AJUSTE INCORRETO	*RECL: PORTA MOTORISTA COM EXCESSO DE FOLGA DESALINHADA.
171	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTAS DESALINHADAS.
172	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 ESPEJO EXTERIOR LADO CONDUCTOR CRISTAL CON DEFECTO,CRISTAL ESPEJO I CON FALLA EN EL CROMADO DEL ESPEJO,BROTO MANCHA. 2 PORTON TRASERO RASPA,REGULAR,ALINEAR Y ESCUADRAR PORTON,DESENCUADRADO CIERRA MA

## APÊNDICE B – Tabela de não-conformidades do Veículo Y

(continuação)

	Peça afetada	Problema	Comentário do Consumidor
173	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA, PTA TRAS DERECHA Y CAPOT DESCUADRADAS
174	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA, PTA DEL DESCUADRADAS
175	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA DERECHA CAPOT Y COMPUERTA DESCUADRADAS
176	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA TRASEIRA LADO DIREITO DESALINHADA. CONSTATADO NAREVISAO DE ENTREGA
177	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	COMPLEMENTO SOLICITUD 00074201104203030.1 BURLETE SUPERIOR DE PORTON SE SALE.FALLA DE ADHESIVO DEL BURLETE.PIEZA A IMPORTAR. SE DESM. BURLETE,SE LIMPIO ZONA Y SE VOLVIO A PEGAR 2 PORTON TRAS.CAIDO.POR
178	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR FILTRACION DE AGUA EN BAUL , SE REEMPLAZA BURLETE ,VENCIDO, BLANDO**2) CRISTAL DE PUERTA AL BAJAR O SUBIR CRUJE, CHILLA SE ALINEO GUIA CRISTAL**3) AMBAS PUERTAS DELANTERAS RUIDOSAS , SE ALINEA
179	PORTA	AJUSTE INCORRETO	LIMPIAPARABRISAS CON PROBLEMAS , AL REVISAR BRAZO DEL MISMO SUELTO OCACIONANDO DIFICULTADES AL FUNCIONAR SE AJUSTA*2) PUERTA TRAS IZQ FUERA DE LINEA SE REGULO*3) DESPERFECTOS EN PANEL DE TORPEDO OCA
180	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTA DELANTERA IZQUIERDA DESALINEADA , AJUSTE Y CENTRADO DE PUERTA . FACT. N: 0001 00000756 . \$ 150 S / IVA .
181	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	CAPÔ DO MOTOR DESALINHADO
182	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	TAMPA TRASEIRA DESALINHADA
183	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA TRASEIRA LADO ESQUERDO DESALINHADA
184	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	CAPÔ DESALINHADO
185	TAMPA DA MALA - DOBRADICA	INTERFERENCIA	PINTAR E TROCAR DOBRADICA TAMPA
186	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REGULAR PUERTAS TRASERA DERECHA DESENCUADRADAS SE REGULA Y ENCUADRA PUERTA TRAS DERECHA
187	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 puerta t.d.roso con d.d.daqandose ambas puertas la pintura##1 puerta t.d. desencuadrada,se escuadro en 1863 N*00029201105272030.##1 factura 3*taller Cabrera N*46454 x pintar puerta t.d.\$596 y x pint
188	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 al girar direccion ruidos. 2 puerta t.d.roce con d.d. ##1 amortiguadores del.flojos. 2 puerta t.d.desencuadrada,se daqaron puertas t.d. y d.d.##1 se ajustaron amortigu
189	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PINTURA DA PORTA ESQUERDA DIANTEIRA
190	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTAS TRASERAS ROZAN AL ABRIL CON LAS DELANTERAS,PINTURA SALTADA.##CORREGIR LUZ DE PUERTAS Y ESCUADRAR LAS MISMAS.HACER RETOQUE DE PINTURA EN LAS CAUTRO PUERTAS.##SE CORRIGIO Y ESCUADRO LAS 4 PTAS.S
191	PORTA	AJUSTE INCORRETO	puertas estan caidas##ptas fuera de linea con problemas de cierre sin roce##se regulo bisagras de ptas del. y ptas traseras.
192	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTAS LADO DERECHO FUERA DE LINEA##PUERTAS LADO DERECHO DESALINEADAS##SE ALINEARON AMBAS PUERTAS LADO DERECHO
193	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR COMPUERTA SE SIENTE MUY DURO AL ABRIR MANIJA EXTERIOR, SE SIENTE DESAJUSTADA
194	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1/RUIDO EN PARTE TRASERA AL ANDAR EN PORTON 2/ENCUADRAR PUERTA TRASERA IZQ##1/SE AJUSTA PORTON TRASERO 2/SE ENCUADRA PUERTA TRASERA##CONTROL OK
195	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 tecla bloqueo cristales t.no funciona bien2 crujido pta.d.d.3 perdida aceite 4 lector c.d.falla.##1 ver tecla alza c.2 puerta d.d.desencuadrada3 verificar carter4 enviar radio al agente,remito 2420
196	PORTA	AJUSTE INCORRETO	01 DIFICULDADE PARA FECHA PORTA DIANTEIRA LADO ESQUERDO
197	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1) PUERTAS DELANTERAS QUEDAN TORCIDAS AL CERRAR. ##1) PUERTAS FUERA DE LINEA. ##1) ALINEAR PUERTAS DELANTERAS.

## APÊNDICE B – Tabela de não-conformidades do Veículo Y

(conclusão)

	Peça afetada	Problema	Comentário do Consumidor
198	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PORTA DIANTEIRA DIREITA ESTAO DESALINHADAS MUITO PARA FORA.
199	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	Portsn cuesta cerrar. ##Portsn desalineado. ##Alinear portsn.
200	PORTA	AJUSTE INCORRETO	REGULACION DE PUERTAS DELANTERAS. FACT DE TERCEROS A 825
201	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTAS TRASERAS DESALINEADAS##ALINEACION DE PUERTAS##
202	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTAS DEL Y TRAS,FUERAS DE ESCUADRA.2 CAPOT FUERA DE LINEA.3 PORTON FUERA DE ESCUADRA##1 PUERTAS CAIDAS 2 CAPOT DESALINEADO 3 PORTON TRASERO TORCIDO##1 SE ALINEARON AMBAS PTAS.DELANTERAS Y AMBAS T
203	CAPÔ	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTAS DEL Y TRAS,FUERAS DE ESCUADRA.2 CAPOT FUERA DE LINEA.3 PORTON FUERA DE ESCUADRA##1 PUERTAS CAIDAS 2 CAPOT DESALINEADO 3 PORTON TRASERO TORCIDO##1 SE ALINEARON AMBAS PTAS.DELANTERAS Y AMBAS T
204	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 PUERTAS DEL Y TRAS,FUERAS DE ESCUADRA.2 CAPOT FUERA DE LINEA.3 PORTON FUERA DE ESCUADRA##1 PUERTAS CAIDAS 2 CAPOT DESALINEADO 3 PORTON TRASERO TORCIDO##1 SE ALINEARON AMBAS PTAS.DELANTERAS Y AMBAS T
205	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1) LAS PUERTAS DEL LADO DERECHO ESTAN DESALINEADAS. LA TRASERA ESTA MAS BAJA QUE LA DELANTERA Y NO CIERRAN BIEN, SE JUNTAN. SE ALINEAN LAS PUERTAS DERECHAS.
206	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 PARAGOLPE TRASERO FUERA DE POSICION. SOPORTE INTERIOR DE PARAGOLPE FLOJO. DESMONTAR PARAGOLPE TRASERO, AJUSTAR SOPORTE, ALINEAR PARAGOLPE. (S 43443000:0.5+TT:0.2) 2 FILTRACION DE AIRE AL HABITACU
207	PORTA	AJUSTE INCORRETO	1 EMBELLECEDOR INFERIOR DE PARABRISAS DEFORMADO. REJILLA DE VENTILACION DEFORMADA. REEMPLAZAR REJILLA DE VENTILACION 2 PUERTA TRASERA IZQUIERDA, FUERA DE LINEA. SE ALINEO PUERTA TRASERA IZQUIERD
208	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	1 EMBELLECEDOR INFERIOR DE PARABRISAS DEFORMADO. REJILLA DE VENTILACION DEFORMADA. REEMPLAZAR REJILLA DE VENTILACION 2 PUERTA TRASERA IZQUIERDA, FUERA DE LINEA. SE ALINEO PUERTA TRASERA IZQUIERD
209	TAMPA TRASEIRA	AJUSTE INCORRETO	REVISAR PUERTON TRASERO SE NOTA CAIDA SE DETECTA PUERTON TRASERO DESCUADRADO, DIFICULTA SU CERRADO SE REALIZA LA REGULACION DE PUERTON TRASERO TEST FINAL OK
210	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTAS TRASERAS FALSA ESCUADRA / ALINEACION DE PUERTAS TRASERAS
211	PORTA	AJUSTE INCORRETO	PUERTAS DESALINEADAS , SE VERIFICA LAS 4 PUERTAS DESALINEADAS . ALINEACION DE PUERTAS ( SS 44413600 0.5 + 44414600 0.5 1 HS ) . MOLDURA INFERIOR DE PARABRISAS SUELTA . APLICADO EL BES 717 SE
212	PORTA	AJUSTE INCORRETO	ENTRADA DE TIERRA POR LAS PUERTAS . ALINEACION Y AJUSTE DE LAS 4 PUERTAS . ( SS 44413600 0.5 + 44414600 0.5 1 HS ) MOLDURAS DE PARABRISAS SUELTA , APLICADO EL BES 717 SE PROCEDE AL PEGADO D

Fonte: Dados de não-conformidades extraídos do banco de dados de garantia da Alfa Motors, referente ao veículo Y no período de Janeiro a Setembro de 2011