

EDSON MALDONADO PERES

DEFINIÇÃO DE UM DIAGRAMA OPERACIONAL PARA ESTRUTURAR
E CORRELACIONAR ATIVIDADES E PADRÕES DIMENSIONAIS E
GEOMÉTRICOS NO DESENVOLVIMENTO E MELHORIA DE
PRODUTOS E PROCESSOS, APLICADOS A UM PROJETO
VEICULAR.

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

São Paulo
2007

EDSON MALDONADO PERES

DEFINIÇÃO DE UM DIAGRAMA OPERACIONAL PARA ESTRUTURAR
E CORRELACIONAR ATIVIDADES E PADRÕES DIMENSIONAIS E
GEOMÉTRICOS NO DESENVOLVIMENTO E MELHORIA DE
PRODUTOS E PROCESSOS, APLICADOS A UM PROJETO
VEICULAR.

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

Área de concentração:
Engenharia Automotiva

Orientador: Prof. Dr. Gilberto
Francisco Martha de Souza.

São Paulo
2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Peres, Edson Maldonado

Definição de um diagrama operacional para estruturar e correlacionar atividades e padrões dimensionais no desenvolvimento e melhoria de produtos e processos, aplicados a um projeto veicular. / Edson Maldonado Peres. - São Paulo, 2007.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Desenvolvimento de Produtos 2. Projeto automotivo I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família

AGRADECIMENTOS

Ao professor Gilberto Francisco Martha de Souza, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante o trabalho.

Aos professores do curso de mestrado, pelo incentivo e atenção durante o período das aulas.

A todas as pessoas que ajudaram no processo de desenvolvimento deste trabalho.

Ao conhecimento, pois nele encontra-se a
evolução e a vida.

RESUMO

Toda variação dimensional de montagem está baseada no empilhamento entre geometrias por formas e furos/pinos de localização em dispositivos. A capacidade de se garantir a menor variação dimensional é proporcional ao número de empilhamentos e ao comportamento geométrico dos componentes para formar o conjunto.

Quanto maior a dependência geométrica no empilhamento, maior a probabilidade de variação.

Entenda-se por dependência geométrica as conseqüências dimensionais circunstanciadas pela geometria de contato entre componentes, que facilitarão ou não os processos produtivos.

Por este conceito, as necessidades relativas ao controle produtivo baseiam-se na capacitação do processo à necessidade do produto e vice-versa (a um processo instalado, desenvolver o produto cuja fabricação seja capaz em garantir o seu desempenho). A capacitação do processo deve-se à garantia sobre controles de componentes e conjuntos, mediante a avaliação de correta aplicação de tolerâncias dimensionais e geométricas no projeto e na garantia do processo.

A desempenho do produto está garantida pelos seis graus de liberdade traduzidos como referências de localização e montagem para a sua função. Aspectos relacionados à rigidez de estrutura são relevantes e poderão ser inseridos nos estudos para garantia de conceitos a serem avaliados.

O diagrama operacional proposto tem como foco reunir atividades e padrões de desenvolvimento de produtos e capacitação do processo, gerenciados por ferramentas de desenvolvimento e qualidade e controle dos processos.

O benefício principal do diagrama operacional está na identificação de correlação de atividades, padrões de variações e capacidades produtivas, por meio da criação de referências geométricas e dimensionais.

Por meio deste diagrama operacional há o desenvolvimento associado à avaliação de validação de montagens de produtos. E ainda uma correlação conseqüente à otimização de processos e produtos.

A base de dados para esse projeto está nos vários processos e conceitos de produtos empregados, na disponibilidade das referências bibliográficas sobre

capacidades de sistemas de inspeção, introdução aos princípios de tolerância, intrínsecas ao desenvolvimento de produtos e processo, ao processo de validação de componentes, nas análises de tensões e deformações e pelo embasamento em tolerâncias dimensionais e geométricas pela ASME Y 14.5 M.

Identifica-se ainda a padronização de aplicação de referenciais para inspeção e processos de união entre componentes, definidos por estratégias de localização.

ABSTRACT

All assembly dimensional and geometric variation are based on geometries stack ups by profiles, locating holes and pins on fixtures. There is a direct relation between the number of stack ups, the final variation and geometry of assembly components.

The probability of variation is directly related to the geometry dependency, that are circumstances of dimensional consequences for product and process.

Based on this concept, process control is related to the process capability and product performance, and vice-versa (based on a installed process, the product must be robust for that process).

The process capability focus the components and assemblies assurance, based on the dimensional and geometric tolerance. Also the process assurances are about components and assemblies control, based on correct dimensional and geometric tolerance.

The product performance is dimensionally assured by the six degrees of freedom translated as locating and assembly references for its function. Aspects related to the stiffness are relevant and the concepts will be presented.

The proposed Operational Diagram is focused to meet activities and product pattern development with process capacity, managed by quality tools and process control methodology.

The benefits of Operational Diagram are to identify and make the correlation among activities, capability and variation through dimensional and geometric references creation, with product and process continuous improvement.

The data base for this proposal are in the multiples process and project applied, in the information, in the process validation based on statistical analysis, in the CAE tooling with basis on tolerance by ASME Y 14.5 M., that identify references application, referenced to the locating strategy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama Operacional de Desenvolvimento e Otimização de Produtos e Processos	15
Figura 2 – Fases do Diagrama Operacional.....	16
Figura 3 – Atividades do Diagrama Operacional.....	17
Figura 4 – Padrões Dimensionais do Diagrama Operacional.....	18
Figura 5 – Correlações do Diagrama Operacional.....	19
Figura 6 – Representação esquemática de duas peças e elementos de medição.	24
Figura 7 – Exemplo de aplicação de espaçamentos não-ortogonal.....	25
Figura 8 – Exemplo de aplicação de espaçamentos não-ortogonal.....	26
Figura 9 – Referências de desalinhamento proposital entre componentes.....	27
Figura 10 – Referências de alinhamento entre componentes.....	28
Figura 11 – Referências de desalinhamento não-proposital entre componentes..	28
Figura 12 – Exemplos de linhas de recorte curvas.....	29
Figura 13 – Exemplos de linhas de recorte retas.....	30
Figura 14 - Esquema dos seis graus de liberdade em superfícies ortogonais.....	32
Figura 15 – Exemplo de referenciais combinados às necessidades de montagem e garantias dimensionais.....	34
Figura 16 – Exemplo de aplicação prática de referenciais combinados às necessidades de montagem e garantias dimensionais.....	34
Figura 17 – Exemplo de aplicação prática de referenciais combinados às necessidades de montagem e garantias dimensionais.....	35
Figura 18 – Exemplo de aplicação prática de espaçamento técnico.....	36
Figura 19 – Exemplo de ferramentas de qualidade aplicadas.....	38
Figura 20 – Exemplo de Engenharia robusta aplicada.....	39
Figura 21 – Exemplo de aplicação de elementos de localização de um painel lateral combinados às necessidades de montagem e garantias dimensionais.....	40
Figura 22 – Exemplo de aplicação de tolerância geométrica.....	43
Figura 23 – Exemplo didático de aplicação de referenciais pela ASME Y 14.5 M..	44
Figura 24 – Exemplo didático de aplicação de referenciais pela ASME Y 14.5 M..	45
Figura 25 – Exemplo de resultado estatístico.....	47
Figura 26 – Campo de estabilização pelo $C_p = 1,00$ a $1,67$	50

Figura 27 – Campo de centralização pelo $C_{pk} = 1,67$	51
Figura 28 – Função perda.....	55
Figura 29 – Controle sobre 95% de 6 sigma.....	58
Figura 30 – Estrutura do processo carrocerias de uma empresa automobilística, por áreas e atividades dimensionais.....	61
Figura 31 – Estrutura do produto auxiliando para cenários das análises de processo.....	62
Figura 32 - Diagrama de Ishikawa – critério dos 6M's (BRAZ, 2002 apud HIRAYAMA, 2005).....	63
Figura 33 – Relação entre desvio e variação com o dimensionamento.....	68
Figura 34 – Relação entre estabilização e centralização.....	68
Figura 35 – Estrutura do objeto de estudo.....	71
Figura 36 – Referenciais combinados para restrição dos graus de liberdade.....	72
Figura 37 – Graus de liberdade nos eixos X, Y e Z respectivamente.....	72
Figura 38 – Fatores de controle para combinações matemáticas de montagem de componentes.....	73
Figura 39 – Problema de interferência entre lanterna e carroceria.....	78
Figura 40 – Relação de dados de variação com direção para avaliar desvio versus variação.....	79
Figura 41 – Dados de medição da lanterna.....	80
Figura 42 – Dados de medição da carroceria.....	80
Figura 43 - Dados de resultado do espaçamento (valores em parênteses são de espaçamento).....	81
Figura 44 - Dados de resultado de análise de variância do espaçamento (valores em parênteses são de espaçamento)	82
Figura 45 - Dados de resultado de análise do espaçamento corrigido (os valores em parênteses são de espaçamento).....	83
Figura 46 - Resultado de análise sobre valor de tolerância para C_{pk} de processo da lanterna.....	83
Figura 47 - Resultado de análise sobre valor de tolerância para C_{pk} de processo da lateral.....	84

LISTA DA TABELAS

Tabela 8.7.1 – Comparação entre valores do veículo anterior e do veículo novo...	75
Tabela 8.8.1 – Combinações por fatores de controle e resultados de simulação..	76
Tabela 10.1.1 – Correlação entre Desempenho do Produto e Capacidade do processo folha 1 de 2.....	89
Tabela 10.1.1 – Correlação entre Desempenho do Produto e Capacidade do processo folha 2 de 2.....	90
Tabela 10.1.2 – comparação entre correlação de desenvolvimento e o estudo de caso de desenvolvimento folha 1 de 2.....	91
Tabela 10.1.2 – comparação entre correlação de desenvolvimento e o estudo de caso de desenvolvimento folha 2 de 2.....	92
Tabela 10.2.1 – Correlação entre desenvolvimento e otimização folha 1 de 2.....	94
Tabela 10.2.1 – Correlação entre desenvolvimento e otimização folha 2 de 2....	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	5
2.1	Aspectos de desenvolvimento geométrico aliado à robustez de estilo, possibilidade de manufatura e rigidez dos dispositivos.....	5
2.2	Aspectos de validação geométrica por tolerâncias.....	6
2.3	Aspectos de variação dimensional da produção e montagem de componentes..	6
3	DEFINIÇÕES.....	8
3.1	Ferramentas de qualidade.....	8
3.1.1	DFMEA	8
3.1.2	PFMEA.....	8
3.1.3	Engenharia Robusta.....	8
3.1.4	DFM.....	9
3.1.5	DFA.....	9
3.2	Efeito “jóia”	9
3.3	Raios de estilo.....	9
3.4	Elementos críticos.....	9
3.5	Flanges de deslizamento.....	9
3.6	Espaçamento técnico.....	10
3.7	Função Perda.....	10
3.8	CMM.....	10
3.9	R&R.....	10
3.10	Estilo.....	10
3.11	Variância.....	10
3.12	Empilhamento Limite.....	11
3.13	Cp.....	11
3.14	Cpk.....	11
3.15	Pp.....	11
3.16	Ppk.....	12
3.17	Seis Sigma.....	12

4	APRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA OPERACIONAL.....	14
5	FASES DO DIAGRAMA OPERACIONAL.....	20
5.1	Dados.....	20
5.2	Conceitos.....	20
5.3	Propostas.....	20
5.4	Especificações.....	20
5.5	Decisões	21
5.6	Manutenção.....	21
6.	ATIVIDADES E PADRÕES DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	22
6.1.	Atividades e padrões de desempenho do produto.....	22
6.1.1.	Especificação.....	22
6.1.1.1.	Padrões de especificação de estilo.....	24
6.1.1.2.	Estrutura do produto.....	30
6.1.1.2.1.	Padrões de geometria dimensional – Aspectos de desenvolvimento geométrico	31
6.1.1.2.1.1	Requisitos dimensionais para o produto.....	31
6.1.1.2.1.2	Elementos técnicos de compensação dimensional.....	35
6.1.1.2.1.3	Padrões de rigidez.....	37
6.1.1.3.	Cenários de análises de produto.....	38
6.1.1.3.1.	Padrões de robustez.....	38
6.1.1.4.	Tolerâncias dimensionais e geométricas.....	40
6.1.1.4.1.	- Padrões de tolerâncias geométricas.....	40
6.1.1.4.1.1	GD&T – <i>Geometric Dimensioning & Tolerancing</i> (Tolerância e dimensionamento geométrico).....	42
6.1.1.4.1.2	ASME Y 14.5 M – 1994 – <i>Addendum</i> 2004.....	42
6.1.1.4.1.3	Aplicação e validação de GD&T - Aspectos sobre referenciais, bônus, variações, tolerâncias (tipos, aplicações).....	43
6.1.1.4.1.4	Normas vigentes.....	44
6.1.1.5.	Resultado das simulações.....	46
6.1.1.5.1	Desvio da média X tamanho da variação.....	49
6.1.1.5.2	Padrões de validação dimensional de projetos (Aspectos de validação geométrica por tolerâncias).....	51

6.1.6. Validação do projeto.....	54
6.1.6.1 Características chave do produto e do processo.....	54
6.1.6.2 Padrões de determinação de elementos críticos.....	55
6.1.6.2.1 Função Perda.....	55
7. ATIVIDADES E PADRÕES DE CAPACIDADE DO PROCESSO.....	56
7.1. Capacidade requerida.....	56
7.1.1 Efeito da média no CEP.....	56
7.1.1.1 Princípio da validação x monitoramento do processo.....	
7.1.2 Consideração sobre tolerâncias.....	56
7.1.3 Consideração sobre variações.....	57
7.2. Estrutura do processo.....	59
7.2.1 Requisitos dimensionais para o processo.....	59
7.3. Cenários de análises de processos.....	61
7.4. Meios de controle do processo.....	63
7.4.1 Aspectos de processo - nível de automação, nível de controle e nível de treinamento.....	63
7.4.1.1 Variação de estamparia.....	64
7.4.1.2 Análise de Variância (ANOVA – <i>Analysis of Variance</i>).....	64
7.5. Confirmação do processo.....	65
7.5.1 Padrões de validações dimensionais e geométricas de processos.....	65
7.5.1.1 Planejamento do processo.....	65
7.5.1.2 Desenvolvimento do processo.....	65
7.5.1.3 Valores de capacidade pela exigência sobre itens de PPAP.....	66
7.6. Validação do processo.....	66
7.6.1 Padrões de monitoramento dimensional de processo.....	67
7.6.2 Desvio e Variação.....	67
7.6.3 Estabilidade e centralização.....	68
8. ESTUDO DE CASO PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E PROCESSOS	70
8.1. Introdução.....	70
8.2. Justificativa.....	70
8.3. Objetivo.....	70

8.4. Objeto de estudo – dados de entrada.....	70
8.5. Conceitos.....	71
8.6. Propostas.....	73
8.7. Especificações.....	74
8.8. Decisões.....	75
8.9. Manutenção.....	76
9. ATIVIDADES E PADRÕES DE OTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS E PROCESSOS APRESENTADOS POR UM ESTUDO DE CASO.....	77
9.1. Introdução.....	77
9.2. Justificativa.....	77
9.3. Objetivo.....	78
9.4. Objeto de estudo – dados de entrada.....	78
9.5. Conceitos.....	78
9.6. Propostas.....	81
9.7. Especificações.....	82
9.8. Decisões.....	83
9.9. Manutenção.....	84
10. CONCLUSÕES.....	86
10.1. Correlação entre Desempenho do Produto e Capacidade do processo.....	88
10.2. Correlação entre Desenvolvimento e Otimização.....	93
10.3 Análises Futuras.....	95
11. BIBLIOGRAFIA.....	96

1. INTRODUÇÃO

As atividades dimensionais relacionam padrões dimensionais e geométricos às características de função de projeto com a produção (execução e montagem) de produtos.

O valor técnico dimensional do desenvolvimento veicular está na organização de atividades que se relacionam a padrões, normas, processos, planejamento, execução, validação e controle.

A composição de padrões de produto e projeto resulta na identificação de variações dimensionais e geométricas de conjuntos e capacidades de processos, por meio da avaliação de empilhamento de tolerância de componentes.

Este trabalho tem como objetivo avaliar e certificar a relação direta do comportamento dimensional de cada componente ao produto desenvolvido e montado pelo processo a ser elaborado e validado.

A avaliação e certificação desenvolvem-se pelos projetos de produtos e processos produtivos em função dos aspectos de variáveis dimensionais relacionadas às suas características individuais como geometria, tolerâncias, referenciais e características conjuntas como empilhamento de tolerâncias, deformação, tensão e retorno elástico entre componentes e ainda a concepção dos dispositivos e ferramentas.

Estas abordagens também estão presentes em seis artigos e um livro a seguir. Os quatro primeiros são do grupo *Auto/Steel Partnership and Body Systems Analysis Project Team*:

- *Automotive Sheet Steel Stamping Process Variation – Variação do Processo de Estampagem de Folhas de Metal Automotivo*, de 1999, que reúne recomendações de um novo paradigma sobre montagem funcional para integração de atividades individuais, desde o desenvolvimento do projeto até a engenharia de processos e ferramentais.

O objetivo do artigo é demonstrar as dificuldades de se garantir um processo de estamparia que produza peças com uma rigidez adequada.

Nesse texto, demonstra-se que o excesso de grampeamento deve ser balanceado garantir a condição de operação que demonstre a capacidade do processo. Desta forma a peça estará aprovada para as operações de montagem subsequentes.

Ao relacionar o propósito de avaliação e certificação com as referências catalogadas, demonstrar-se-á a necessidade da interação entre padrões de projeto sobre variação dimensional e geométrica e padrões resultantes da fabricação e da variação permitida para garantia da funcionalidade do produto.

- *Automotive Body Measurement Systems Capability – Capacidade de Sistemas de Medição de Estruturas de Carrocerias Automotivas*, de 1999, com objetivo de quantificar a capacidade e examinar os impactos dos sistemas de dimensionamento no resultado de medição de produtos.

O objetivo deste artigo é relacionar as atividades de desenvolvimento com validação por medição de componentes e conjuntos, em dispositivos ou sistemas de medição.

Tendo principal foco a demonstração de que há uma contribuição à variação devido às características dos dispositivos e dos processos de medição, seja ele restritivo ou “em estado livre”, o artigo desenvolve questões sobre: centralização do processo x variação do sistema de medição, validação por contato entre peças e conjuntos e previsão de variação dimensional de conjuntos montados em função do retorno elástico devido às tensões resultantes.

- *Functional Build: An Integrated Approach to Body Development Build – Montagem Funcional: Aproximação Integrada ao Desenvolvimento de Construção de Carrocerias*, de 1999, descreve um processo de verificação de montagem de peças e estratégias de localização representativas do produto e dos dispositivos de montagem.

O objetivo deste artigo é demonstrar o procedimento de avaliação de carrocerias automotivas, iniciando pela montagem de uma estrutura de referência e a

avaliação sobre as necessidades de alteração ou ajustes das ferramentas de peças ou dispositivos dessa montagem.

- *Body Systems Analysis: A Benchmark Study of Automotive Door Dimensional Quality – Executive Summary – Análise de Sistemas de Carrocerias: Um estudo de Mercado Sobre Qualidade Dimensional de Portas Automotivas*, de 2002, que, descrevendo os processos de instalação de portas, demonstra todas suas características intrínsecas desse gênero tecnológico, envolvendo qualidade de peças estampadas, automação de processos de montagem, projeto do produto e estratégias dimensionais para correlacionar os mesmos apoios e localizações de peças tanto para inspeção quanto para soldagem.

O meio para avaliação matemática dos dados levantados se faz com o uso das técnicas de avaliação estatísticas, auxiliadas pelo processo de mensuração de componentes e conjuntos, e a análise de variação dimensional por software de simulação, cujo levantamento de dados teóricos e históricos serão confrontados nos estudos de casos.

- *Introduction to the Principles of Tolerancing – Introdução aos Princípios de Tolerâncias*, de 1982, da *Standard Tolerance Data*, estabelece a partir da definição de tolerâncias a análise sobre a capacidade de processos pelo meio dos cálculos convencionados pela teoria estatística.

Sob o ponto de vista de desenvolvimento, avaliação e validação de tolerâncias geométricas, o processo de estudo entre empilhamento limite ou análise de variância (ou tolerância estatística) dependem do uso e dos valores de tolerância em si.

- *Taylor, Process tolerancing: a solution to the dilemma of worst-case versus statistical tolerancing – Processos de Tolerâncias: Uma Solução Para o Dilema de Empilhamento Limite Versus Tolerância Estatística*, de 1999, demonstra a evolução da discussão sobre tolerâncias, defendendo a avaliação sobre o processo de fabricação e, portanto, permite uma composição entre variações no produto e no processo, garantindo uma melhor apropriação de

empilhamentos para avaliações de tolerâncias estatísticas, conseguindo resultados consistentes, comparados com a realidade de fabricação e permitindo que haja uma maior aproximação de projetos desenhados para seis sigma.

- Creveling, Tolerance Design – Tolerâncias no Projeto, de 1997, é a última referência conceitualmente importante e está baseada na tolerância de projeto, que, além de abordar o processo de definição de tolerâncias, relaciona a função perda e parâmetros de sensibilidade para definição de características chaves. Por fim, o foco deste trabalho de dissertação é estabelecer atividades e padrões a partir de um diagrama operacional que se baseie em capacidade de processo e desempenho do produto, tendo como saídas o resultado de variações, classificação de elementos críticos e geometrias (desenho robusto), representando a correlação necessária para o bom desenvolvimento e validação de um projeto.

2 OBJETIVOS

As estratégias de localização e fixação dos componentes são fundamentais para a distribuição de tolerâncias e balanceamento de deformações, assim como seqüência de travamento dos componentes em dispositivos e sua montagem.

Sob as perspectivas de processo produtivo, deve-se ainda garantir a robustez dos dispositivos e ferramentas para repetição e reprodutibilidade do processo.

O início deste trabalho está baseado em fatores de entrada, classificados pelos aspectos expostos a seguir.

2.1. Aspectos de desenvolvimento geométrico aliado à robustez de estilo, possibilidade de manufatura e rigidez dos dispositivos.

Itens reunidos das lições aprendidas com projetos de estruturas de carrocerias:

- Geometria de Produto – relação entre flanges com potenciais de deformação pela extensão, curvatura, rigidez e pelas características de fixação e funcionamento;
- Condições de fabricação do componente – vínculo entre material, geometria do componente, tensões finais, ocasionando deformação elástica / plástica e variação dimensional;
- Condição do processo de solda – temperatura, seqüência dos grampeamentos, materiais, geometria;
- Contribuição dos dispositivos – rigidez do dispositivo para garantir que não haja falha na sua repetição e reprodutibilidade;
- Aumento da variação dimensional pela propagação de deformação – seja pelo empilhamento, seja pela condição geométrica ou peso da própria peça e
- Estilo atribuído ao produto, tornando-o vulnerável à percepção de defeitos.

2.2. Aspectos de validação geométrica por tolerâncias (CREVELING, 1997):

- Elementos técnicos de compensação dimensional como espaçamento técnico, flanges de deslizamento, recalque para calibração de flanges e composição do empilhamento de componentes;
- Desenvolvimento consistente de tolerâncias, buscando-se a melhor condição de montagem e funcionamento do produto (capacidade do processo);
- Desvio da média *versus* tamanho da variação (Cpk);
- Valores de capacidade pela exigência sobre itens de PPAP (Cp=1,67 e Cpk=1,0) e
- Utilização de Função perda para tomadas de decisões quanto às tolerâncias envolvidas.

2.3. Aspectos de variação dimensional da produção e montagem de componentes (AUTO/STEEL, *Body Systems Analysis*, 2002):

- Sistema de fixação de componentes;
- Sujeição de montagem – valores de tensões residuais e eventuais distorções;
- Manuseio e seqüência dos componentes para montagem e solda;
- Cadeia de montagem e de cálculos de tolerâncias e
- Relação entre componentes e dispositivos.

A partir dos aspectos relacionados à variação dimensional de um produto e de um processo, podemos objetivar:

- Padronização de modelos de espaçamento técnico;
- Comparação de estruturas por conceitos de geometria, tolerâncias, robustez de dispositivos;
- Encaminhamento de propostas de soluções de problemas dimensionais;
- Identificação de causas raízes para controle sobre a variação propagada e
- Avaliação de conceitos atuais com as variações reais em produção e as variações previstas e relação à capacidade e robustez.

Com os aspectos apresentados, descreve-se então quais são os princípios para tolerâncias e funcionamento de produtos:

- Número de empilhamentos reduzido para um melhor resultado;
- Distribuição de elementos de apoio e localização o mais próximo possível das extremidades de um componente;
- Conformação de um componente é o que define a sua variação dimensional;
- Quanto mais centralizada a média de uma variação dimensional de um componente, mais centralizada será também a média da variação do seu conjunto e
- Características mecânicas sobre materiais associados às condições de processos de fabricação.

Dados os aspectos dimensionais e geométricos, relacionados a princípios de tolerâncias, e funcionamento de produtos, propõe-se então a elaboração de um diagrama operacional que reúna todas as atividades necessárias para correlacionar desempenho do produto, capacidade do processo e otimização de ambos.

3 DEFINIÇÕES

Informações, teorias e ferramentas de domínio público são mencionadas no decorrer do texto e devem ser definidos para se garantir a compreensão das abordagens relacionadas.

3.1 Ferramentas de Qualidade

3.1.1 DFMEA – *Design Failure Mode Effect Analysis* – (FMEA, 1995) e (SOUZA, G., 2005)

Análise sobre modos de falha para desempenho de projetos tem como objetivo reconhecer e avaliar as conseqüências (efeitos) de uma falha potencial de um produto ou processo, identificar ações que podem eliminar ou reduzir a probabilidade de sua ocorrência e documentar o processo de análise de forma sintetizada.

O resultado desse estudo identifica todas as características críticas que devem ser observadas para garantia do desempenho do produto.

3.1.2 PFMEA – *Process Failure Mode Effect Analysis* – (FMEA, 1995)

Define a partir das características críticas de desempenho do produto, quais são os pontos problemáticos de processo de fabricação para garantir com confiabilidade que cada unidade de fabricação terá o desempenho esperado.

A estrutura dos estudos de PFMEA tem como objetivo definir as operações de controle e certificação de cada fase de fabricação.

3.1.3 Engenharia Robusta

Ferramenta de qualidade que desenvolve a avaliação de elementos chaves participantes da variação, classificadas como fatores de controle, definem todas as combinações para se simular as condições de resultados.

A partir dos resultados, temos como identificar a melhor combinação e decidir sobre a sua utilização ou aprimoramento.

3.1.4 DFM – *Design for Manufacturing* -

Aplica-se aos processos de construção de peças, como estampagem, fundição, injeção etc, tendo como princípio definir critérios de execução de operações de fabricação e análise sobre itens críticos de processamento.

3.1.5 DFA – *Design for Assembly* -

O principal foco do DFM é o desenvolvimento de estudos de projeto sobre a melhor e mais simples maneira de se produzir e montar componentes, envolvendo estudos sobre acessos, geometria, manuseio.

3.2 Efeito “jóia”

É o resultado esperado pelo consumidor sob o ponto de vista de percepção visual, sensação de conforto e ergonomia.

3.3 Raios de estilo

Raios não geométricos que têm como objetivo direcionar o reflexo da luz em vincos definidos no estilo do produto.

3.4 Elementos críticos

São as características críticas definidas em ferramentas de qualidade, classificados em elementos de montagem, desempenho ou segurança.

3.5 Flanges de deslizamento

Termo para definir a relação de geometria de apoio entre componentes, quando, no processo de fixação para soldagem ou parafusamento, a variação geométrica de suas superfícies não interfere no empilhamento das tolerâncias, havendo assim somente a participação da tolerância do dispositivo de fabricação.

3.6 Espaçamento técnico

Termo para definir o distanciamento entre flanges que se encostam e participam diretamente do empilhamento de tolerâncias, com o objetivo de diminuir e compensar desvios geométricos de componentes e dispositivos.

3.7 Função Perda (CREVELING, 1997)

A função perda define o padrão do risco de perda sobre qualquer item em questão quando o seu resultado ultrapassa os limites de especificação do projeto.

3.8 CMM – *Computer Measurement Machine* –

Sigla utilizada para designar equipamentos de medição com referências coordenadas e controlados por computadores.

3.9 R&R – Repetição e Reprodução (MAS, 1995)

Procedimento de validação de sistemas de dimensionamento e operação sobre montagem e desmontagem do produto em dispositivo simulador. Deve garantir a validação do procedimento em seis sigma.

3.10 Estilo

Designação de informação que determina o departamento de criação de novos desenhos de produtos ou características visuais sobre os elementos do produto em discussão.

3.11 Variância (SENAI, 1987)

Associada à maioria das variáveis aleatórias, variância se define pela relação entre a média da distribuição e os elementos participantes da variação. Variância é o desvio padrão elevado ao quadrado que junto com a média caracterizam a distribuição normal.

A análise de variâncias permite relacionar o comportamento entre elementos distintos e projetar o resultado da relação conjunta.

Associadas à teoria dos seis sigma, a análise sobre desvio padrão e média ocorrem pela análise de variância, o que identifica numericamente as condições de aceitação e validação dos desvios padrões necessários.

3.12 Empilhamento Limite

É definido como método das somas lineares das tolerâncias dos componentes que formam o empilhamento, com objetivo de avaliar a situação limite. Como a situação limite dificilmente ocorre, o empilhamento limite fica geralmente condicionado a empilhamento de poucas peças. (*Introduction to the Principles of Tolerancing*, de 1982)

3.13 Cp (PPAP, 1999)

Índice de capacidade definido como o intervalo de tolerância dividido pela capacidade do processo, independentemente de sua centralização, aplicado ao cálculo da amostra.

3.14 Cpk (PPAP, 1999)

Índice de capacidade que leva em consideração a centralização do processo, e é definido como o mínimo entre a média subtraída do limite superior ou inferior de especificação do projeto, divididos por três sigma, aplicado ao cálculo da amostra.

3.15 Pp (PPAP, 1999)

Índice de desempenho definido como o intervalo de tolerância dividido pelo desempenho do processo, independentemente de sua centralização, aplicado ao cálculo da população.

3.16 Ppk (PPAP, 1999)

Índice de desempenho que leva em consideração a centralização do processo, sendo definido como o mínimo entre a média subtraída do limite superior ou inferior de especificação do projeto, divididos por três sigma, aplicado ao cálculo da população.

3.17 Seis Sigma (Fanucchi, 2002)

Por definição, seis sigma é a classificação de processos com seis desvios padrões entre a média e o limite de especificação superior e inferior, sendo aplicado como uma metodologia para melhoria de processos, por meio do uso organizado de informações em cálculos estatísticos.

Considerado sob o ponto de vista de correlação entre eventos e tratamento de dados para análises de resultados, o seis sigma pode determinar a relação de cálculos de projeto comparado à desempenhos reais, e dessa correlação identificar causas raízes para solução e encaminhamento de problemas.

A partir do ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act) a aplicação do seis sigma indica a definição, medição, análise, melhoria e controle.

Sendo então aplicado a um processo produtivo na correlação entre eventos na busca da melhor combinação de hipóteses e outras aplicações que auxiliem a avaliação de históricos na correlação conjunta de eventos e suas correspondências diretas ou não, temos:

- Definição correspondendo à meta a ser alcançada;
- Medição correspondendo ao histórico de desempenho e análise sobre a confiabilidade e capacidade do processo;
- Análise objetiva, correspondendo à descoberta sobre a causa raiz, por meio de comparações quanto às diferenças e mudanças do processo para busca das hipóteses de causa;
- Melhoria, atendendo à necessidade de solucionar o problema com idéias, testes de soluções, padronização e medição de resultados e por fim

- Controle, atendendo a necessidade de continuidade e manutenção de um processo, indicando os ganhos e que a solução foi traçada pelo caminho menos crítico.

4 APRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA OPERACIONAL

O diagrama operacional representa o esquema do processo de desenvolvimento de produtos, sintetizando atividades, padrões, conceitos, critérios técnicos, características, seqüência e resultados para a validação dimensional de projetos.

Ele reúne a seqüência de atividades de desenvolvimento e otimização dimensional de produtos e processos, envolvendo a desempenho de produto, capacidade de processo e melhorias contínuas.

Como proposta, define a correlação das atividades de engenharia para o vínculo técnico sobre possibilidades de construção de componentes e ferramentas, conjuntos e dispositivos, consolidando a relação entre projeto de estrutura de produtos e de capacidade de processos.

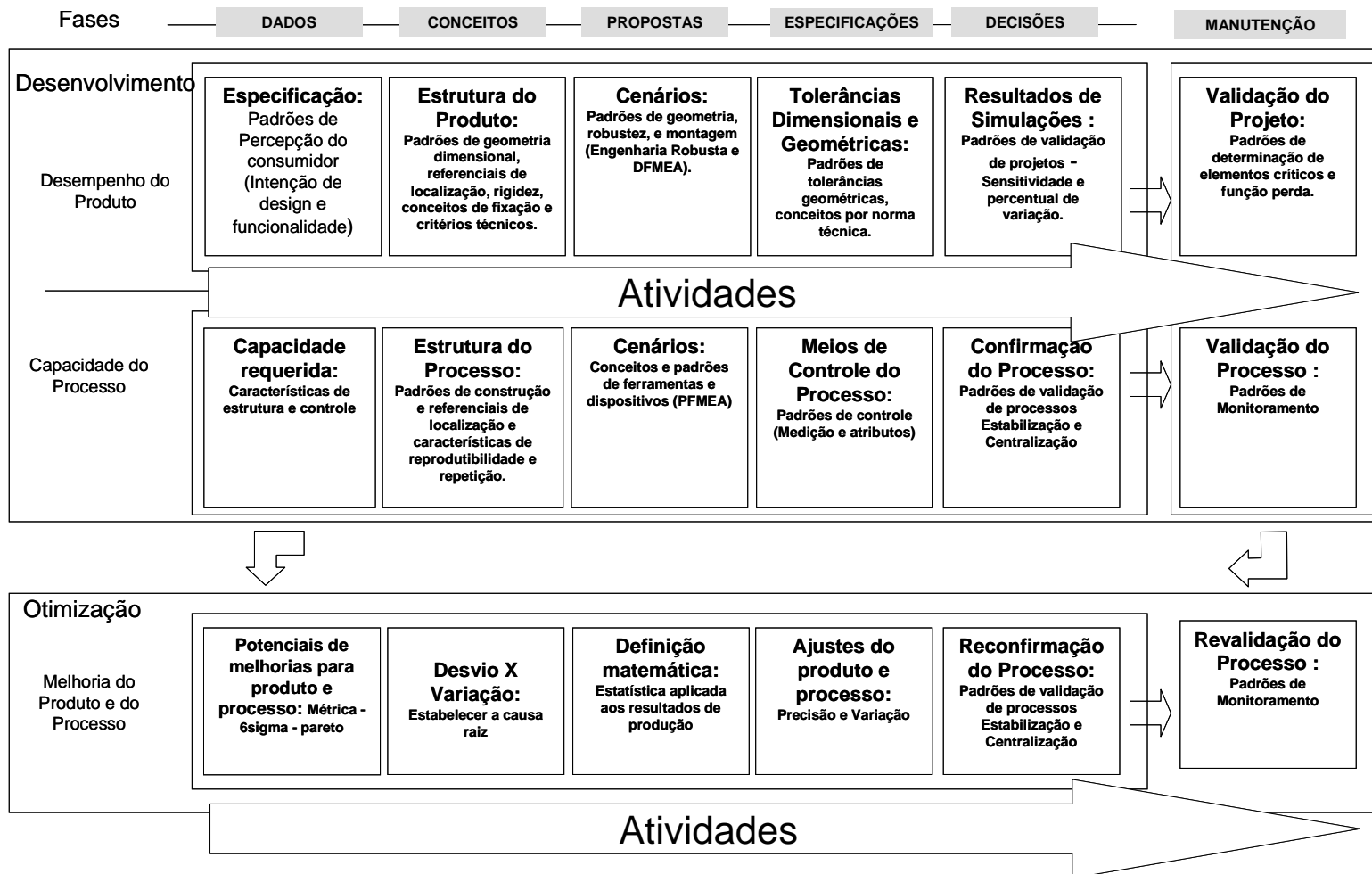


Figura 1 – Diagrama Operacional de Desenvolvimento e Otimização de Produtos e Processos

O diagrama está estruturado em atividades relacionadas a padrões dimensionais, separadas por duas etapas distintas: desenvolvimento, subdividido em desempenho do produto e capacidade do processo, e otimização.

As fases do diagrama - dados, conceitos, propostas, especificações, decisões e manutenção - determinam a cadência cronológica e intermediária das atividades e padrões dimensionais, indicando sua seqüência e resultados necessários para cada fase de desenvolvimento.

Fases — DADOS — CONCEITOS — PROPOSTAS — ESPECIFICAÇÕES — DECISÕES — MANUTENÇÃO

Figura 2 – Fases do Diagrama Operacional

Com a estrutura apresentada, inicia-se a possibilidade de correlação com o intuito de se consolidar os processos de desenvolvimento de produtos em dois níveis: entre fases e atividades, desenvolvimento e otimização.

As relações entre atividades e padrões de desenvolvimento são elementos das figuras 3 a 5.



Figura 3 – Atividades do Diagrama Operacional

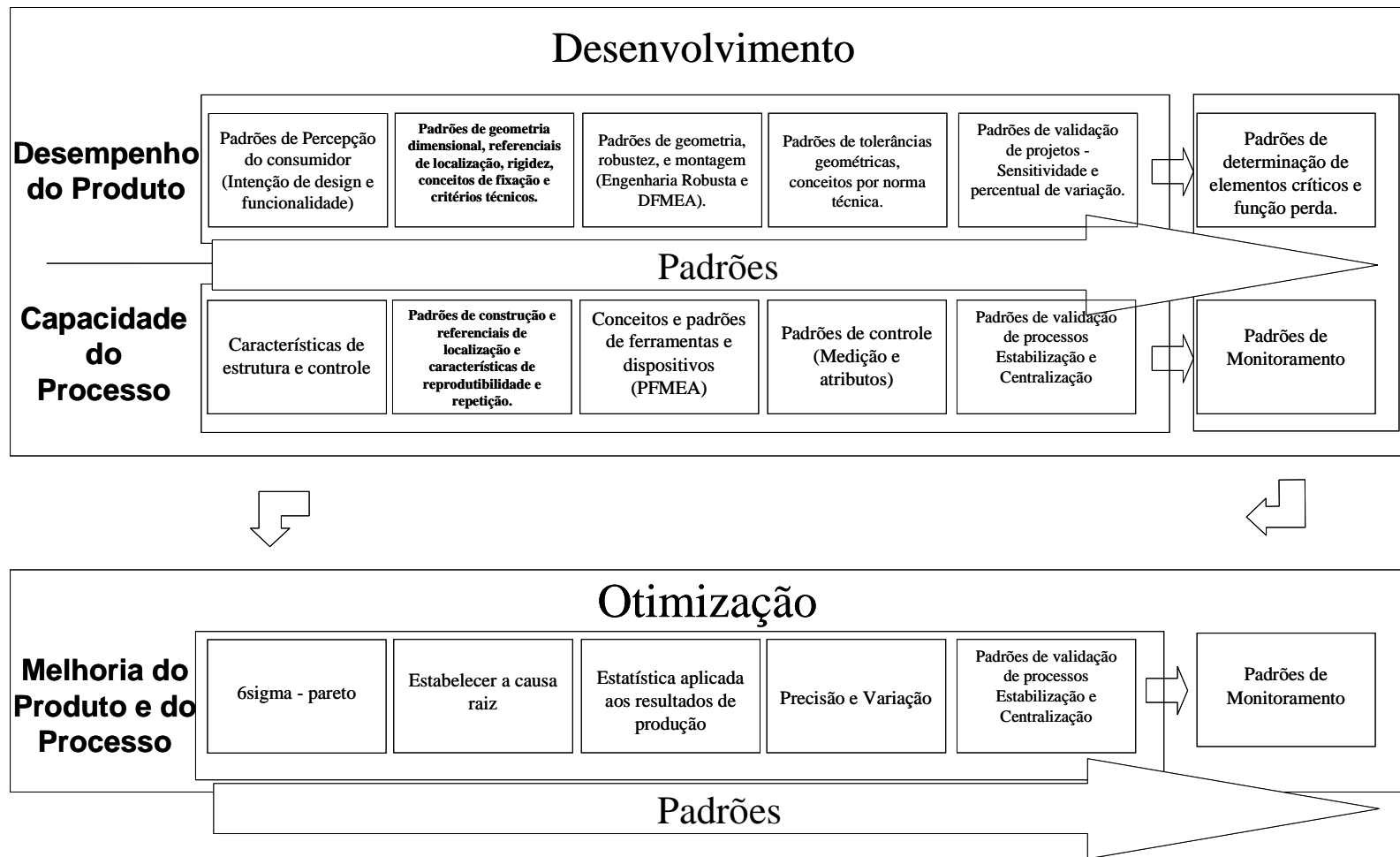


Figura 4 – Padrões Dimensionais do Diagrama Operacional

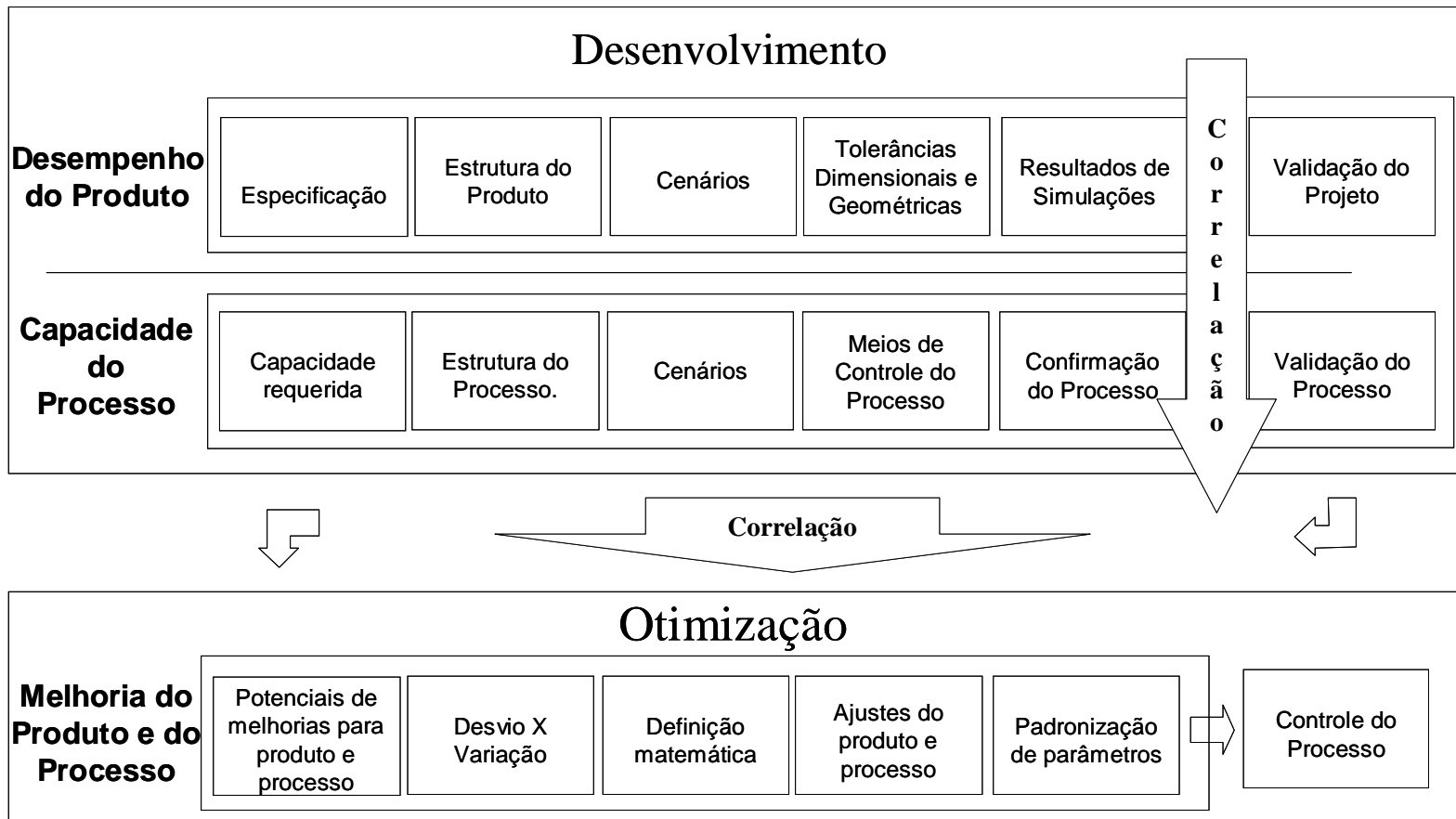


Figura 5 – Correlações do Diagrama Operacional

5. FASES DO DIAGRAMA OPERACIONAL

5.1. Dados

São as informações iniciais sobre as características de estilo, funcionalidade e critérios de projeto a serem correlacionadas com as características operacionais do processo já instalado ou a ser definido para a capacidade necessária. Quando aplicado para a otimização, os dados são as necessidades ou potenciais de melhoria.

5.2. Conceitos

São as definições técnicas dos dados estabelecidos para produto e processos, como padrões de geometria dimensional, robustez, rigidez, conceitos de fixação, montagem, envolvendo características de reprodutibilidade e repetição do processo. Quando aplicado ao processo de otimização, foca-se a relação de desvio e variação para determinação de parâmetros de estabelecimento de causa raiz.

5.3. Propostas

São as possibilidades tecnicamente viáveis para produto e processo, que serão classificadas por ferramentas de qualidade em combinações de avaliações por simulações e testes. Como ponto central do diagrama, as propostas são mutuamente orientadoras dos cenários de estrutura do produto e do processo.

5.4. Especificações

É a mensuração dos elementos variáveis das propostas de produtos e processo, correspondendo-se pela tolerância dimensional e geométrica aplicada, controlada pelo planejamento de meios de inspeção do produto.

As especificações são definidas pelos padrões de geometria, dimensional, referenciais de localização, robustez, rigidez, conceitos de fixação e critérios

técnicos para o produto, associados a padrões de construção sobre características de reprodutibilidade e repetição para o processo.

5.5. Decisões

Para os cenários de projetos, são os resultados estatísticos das simulações, percentuais de variação e das avaliações das propostas elaboradas, catalogadas pelas combinações definidas nos cenários, por meio de aplicação de ferramentas de qualidade, como Engenharia Robusta e *DFMEA*.

Para a confirmação do processo, são as atividades de estabilização e centralização das operações de fabricação.

5.6. Manutenção

Para o desenvolvimento e a otimização, a manutenção é a certificação dos trabalhos realizados, concluída por um processo de validação que documenta padrões de determinação de elementos críticos, associados aos resultados de ferramentas de qualidade e função perda. Estes estão aliados aos padrões de monitoramento de processo, confirmando o potencial de qualidade estrutura completa de construção do produto.

6. ATIVIDADES E PADRÕES DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O desenvolvimento de produtos e processos classifica-se pelos objetivos de validação, atingindo seu desempenho de funcionamento pela produção com capacidade de atender às especificações dimensionais e geométricas em todas as unidades, associando-se por todas as fases de desenvolvimento pela correlação entre as atividades.

6.1. Atividades e padrões de desempenho do produto

O desempenho do produto é estabelecido pela validação do projeto, por meio das atividades de especificação, estrutura, cenários, tolerâncias dimensionais e geométricas e resultados de simulações.

Cada uma dessas atividades define-se por padrões, critérios e conceitos de engenharia.

6.1.1. Especificação

A especificação destina-se a estabelecer quais são os propósitos e função do produto a ser desenvolvido. Os padrões definidores de parâmetros de produto quanto a sua especificação estão relacionados a padrões de percepção do consumidor (qualidade percebida) e definem intenção de estilo e funcionalidade dos produtos:

A qualidade percebida é estabelecida pela prática de correlacionar o que se vê, toca, ouve e cheira a um conceito de qualidade dado pela satisfação da avaliação sobre padrões diretos (referências existentes), ou indiretos (sensitivos).

Observa-se que os comportamentos racional e sensitivo movem as pessoas ao consumo, sendo que o desejo tende a suplantar a necessidade (REIS, 1999).

Portanto, a avaliação como qualidade percebida está garantida como atributo associado ao sentimento do usuário e não como elemento mensurável.

No entanto, pode-se padronizar o conhecimento do cliente (RAMPERSAD, 1999):

- Identificando suas necessidades e expectativas;
- Observando se o conceito e estrutura do produto atende a essas expectativas;
- Adequando o produto para que ele tenha qualidade igual ou maior às desejadas pelo cliente.

Por outro lado, a garantia sobre a qualidade percebida como atributo, ao transformar-se em elemento de desenvolvimento de um produto, deve ser totalmente mensurável para que haja a correlação entre os padrões de desenvolvimento.

Para atender às expectativas do cliente que busca o “efeito jóia”, devem-se executar ferramentas de qualidade com o objetivo de determinar os itens de qualidade que o consumidor irá perceber e, portanto, garantir o valor agregado sobre o produto.

Os seus parâmetros de mensuração são estilo, material, manuseio, medidas dimensionais, temperatura, pressão e outros, que associados, garantem a fabricação e o uso dos recursos do produto.

A abordagem seguinte será sobre os parâmetros de estilo, pois são as fontes de partida para o trabalho proposto de identificação de padrões geométricos e dimensionais sobre conceitos de projeto, variações e capacidades de processo.

Os Parâmetros de Estilo são dependentes dos seguintes aspectos:

- Relação das propostas comparativas de mercado;
- Intenção do estilo de desenho proposto com objetivo de ser insensível à variação;
- Relação conceitual de fixação entre componentes;
- Relação dimensional entre componentes;
- Definição técnica da distância nominal com uma tolerância de posição relativa entre si e
- Estilo da linha divisória entre componentes.

Os princípios técnicos para o Estilo são direcionadores da engenharia dimensional – quanto mais um estilo for sensível à variação, maior será a

dependência técnica de relação dimensional para construção e montagem de componentes, representando um alto custo de processos.

6.1.1.1. Padrões de especificação de estilo

- Relação entre especificação de valores de tolerâncias e os estilos propostos, que são definidos por raios de estilo e espaçamento visual (tecnicamente significam medidas de espaçamento, desalinhamento e não paralelismo) e
- Especificações técnicas dimensionais para um projeto robusto, com objetivo de atingir o princípio da engenharia dimensional.

O esquema de duas peças com a representação de aberturas, profundidades, desnível e raios, que configuram os principais parâmetros declarados, demonstra a relação técnica para desenvolvimento e medição de componentes do produto com a finalidade de garantir a sua qualidade visual.

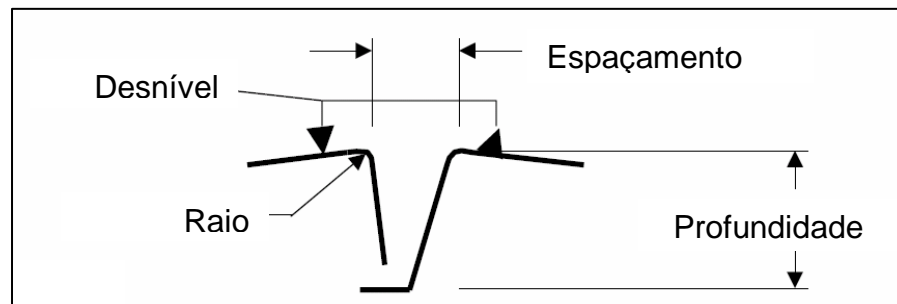


Figura 6 – Representação esquemática de duas peças e elementos de medição.

A seguir, os exemplos reais mostrarão quatro tópicos de parâmetros técnicos aplicados ao estilo, com soluções técnicas sobre cada proposta.

Espaçamento: a vista em verdadeira grandeza não deve ser ortogonal ou normal à posição de visão de estilo. Caso essas observações não possam ser aplicadas, uma sobreposição entre as peças ou um desalinhamento aplica-se para gerar um desvio, tornando o espaçamento visualmente raso.

Aplicado aos exemplos dos veículos mostrados nas figuras 7,8,9,10,11,12 e 13, temos:

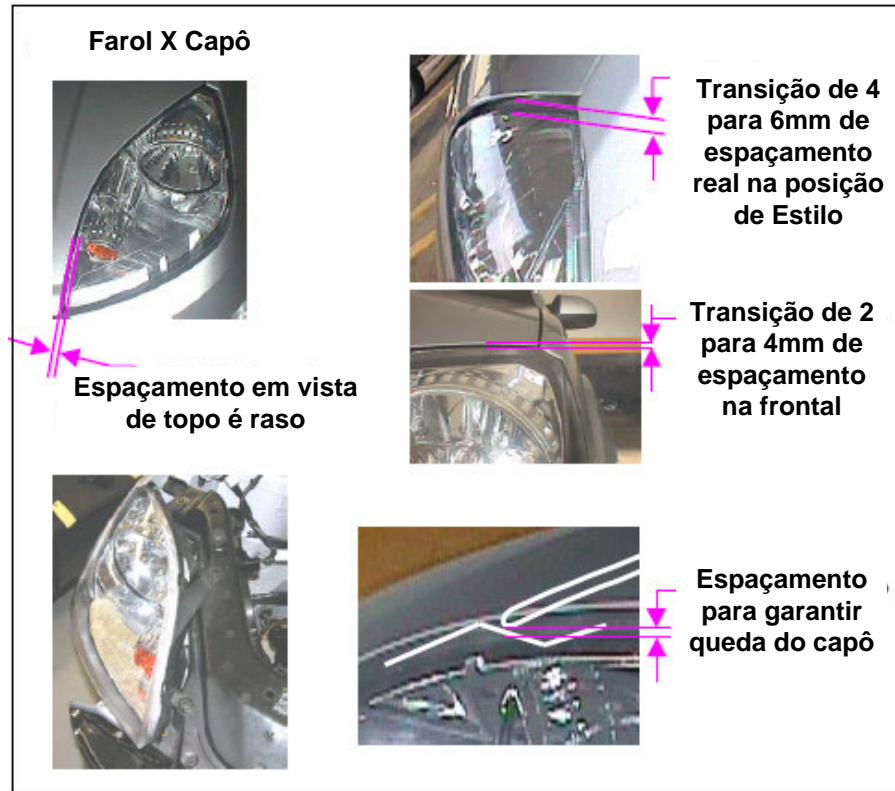


Figura 7 – Exemplo de aplicação de espaçamentos não-ortogonal

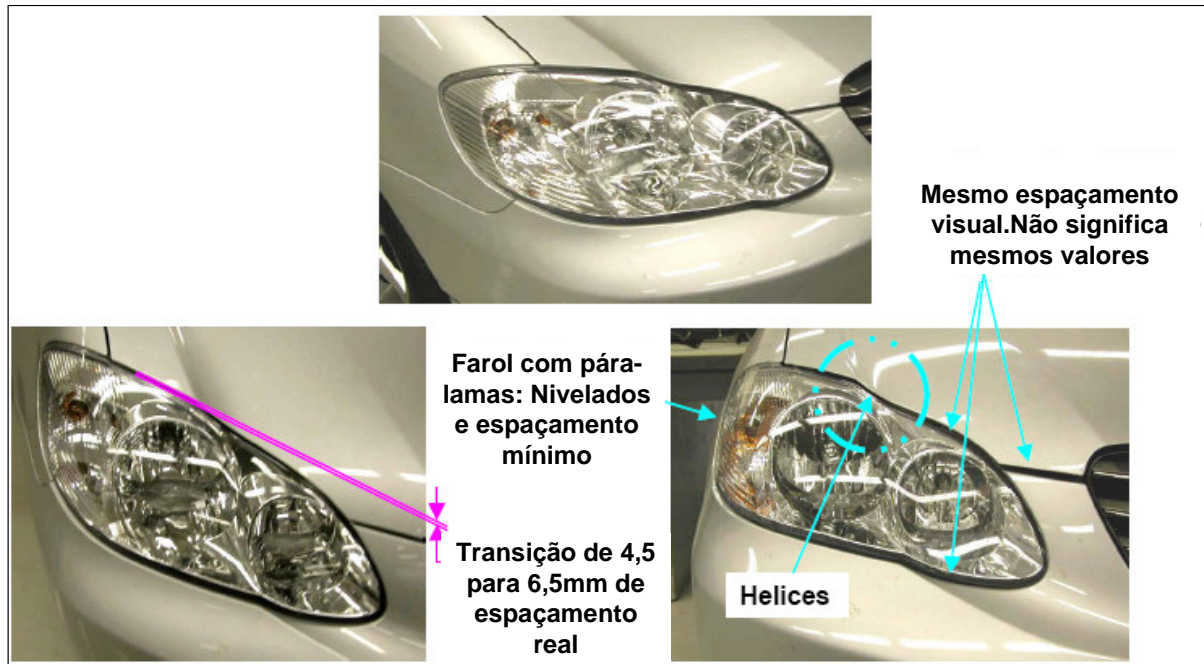


Figura 8 – Exemplo de aplicação de espaçamentos não-ortogonal

Quanto mais imperceptível for um espaçamento, maior poderá ser o seu tamanho. Se estiver integrado ao estilo, melhor será sua integração visual.

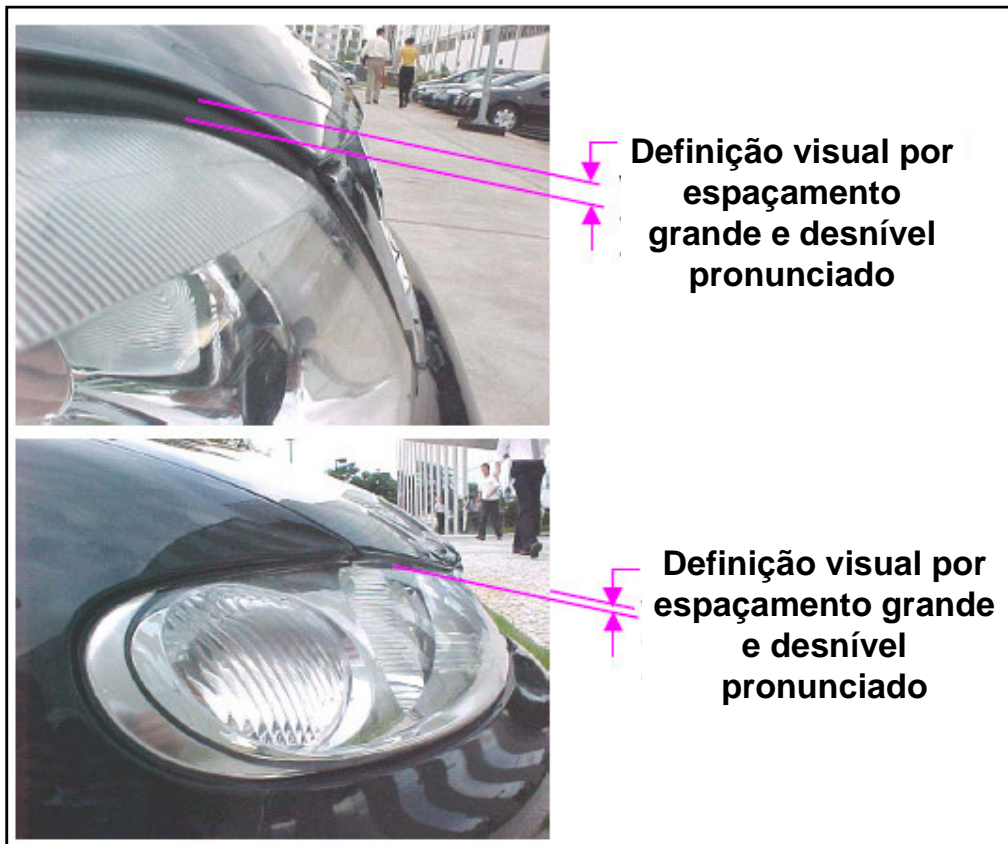


Figura 9 – Referências de desalinhamento proposital entre componentes

Alinhamento: a solução para garanti-lo está na uniformidade visual entre as superfícies. Como em toda região de transição entre componentes acontece a variação dimensional na sua montagem e tolerância, a principal solução está em criar desvios de superfície com desníveis de 1mm a 2mm em todo o seu contorno.

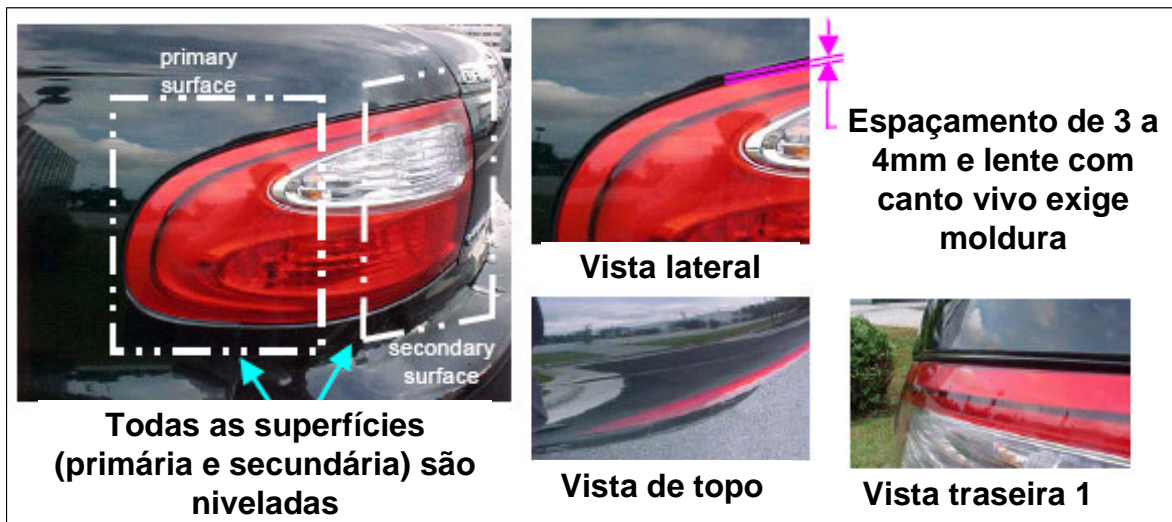


Figura 10 – Referências de alinhamento entre componentes.

Desalinhamento: Quando usado por estilo, deve garantir que não haja a percepção sobre má montagem de componentes.

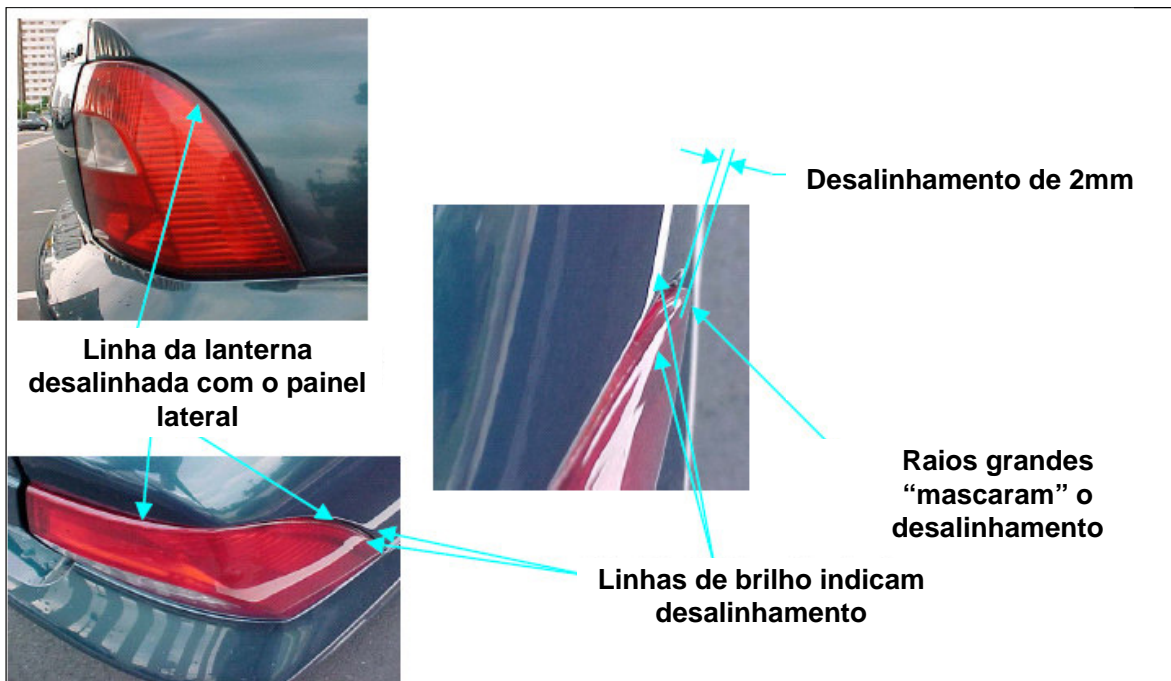


Figura 11 – Referências de desalinhamento não-proposital entre componentes

Linhas de recorte: as linhas curvas conferem harmonia ao estilo e indicam integração entre os componentes, enquanto as linhas retas indicam separação.



Figura 12 – Exemplos de linhas de recorte curvas

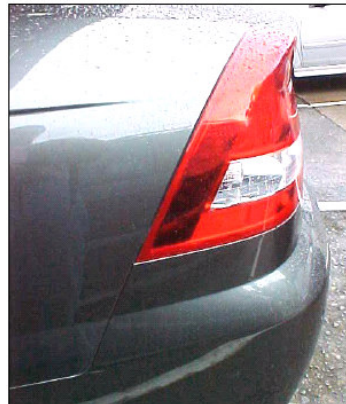


Figura 13 – Exemplos de linhas de recorte retas

O conteúdo apresentado é resultado da experiência do autor sobre pesquisa de desenvolvimento dimensional entre 2001 e 2005, sobre conteúdo de estilos de automóveis na mesma época.

6.1.2. Estrutura do produto

A estrutura do produto define-se pela árvore de montagem de componentes, com níveis de conjuntos principais, secundários e peças.

Ela se destina a estabelecer sob o ponto de vista geométrico e dimensional, a ligação entre cada nível de montagem de conjuntos pelos parâmetros de tolerâncias, seqüência de montagem, e resulta, conseqüentemente, na variação final do produto.

A partir do estilo proposto, da estrutura do produto e critérios técnicos, também se definem as geometrias, necessidades sobre robustez, rigidez e conceitos de fixação. Estes serão os padrões dimensionais propostos para essa atividade.

6.1.2.1. Padrões de geometria dimensional – Aspectos de desenvolvimento geométrico

Importante elo entre tecnologia de manufatura e conceito de produto, os padrões de geometria integram-se pela relação espacial de elementos de localização, seqüência de montagem, diferentes tamanhos e padrões de correlação do produto com processos de fabricação.

A propagação da variação dimensional pode ocorrer pelo somatório das deformações, seja pela variação dimensional no empilhamento, seja pela condição de retorno elástico da própria peça, e são elementos focais da definição dos padrões de geometria e dimensão. (*Principles of Tolerancing*, 1982)

Os aspectos de desenvolvimento geométrico e dimensional são: requisitos dimensionais para o produto, elementos técnicos de compensação geométrica e dimensional e padrões de rigidez.

6.1.2.1.1 Requisitos dimensionais para o produto (estratégia de localização e efeitos na robustez, empilhamento e orientação de montagem)

Os princípios para os requisitos dimensionais a partir dos elementos participantes dessa padronização são referências de localização pelos graus de liberdade ortogonais (ASME Y 14.5 M, 1994).

Os seis graus de liberdade são os pontos de partida para o assunto sobre geometria, pois são os referenciais definidos pelos planos ortogonais tridimensionais, e três eixos perpendiculares a essas três superfícies.

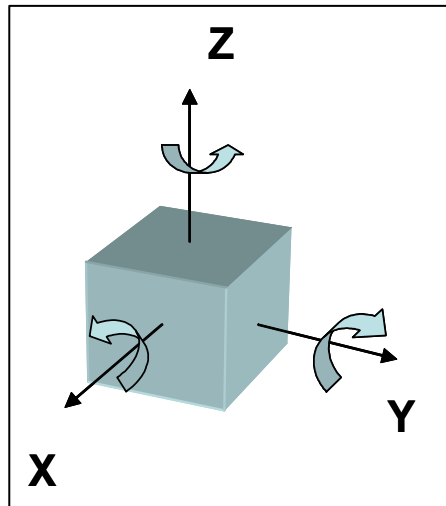


Figura 14 - Esquema dos seis graus de liberdade em planos ortogonais.

Dessa maneira, definiu-se um parâmetro fundamental de correlação entre componentes, criando-se a relação de contato entre eles para garantir a montagem e as funções individuais e conjuntas que eles venham exercer.

Os requisitos de estabilidade dimensional são: peso, tamanho, áreas de contato, seqüência de montagem, posição dos subconjuntos e seqüência definida pelos referenciais das peças principais.

A partir desses requisitos, a garantia dimensional do produto acabado depende de cinco fatores (AUTO/STEEL, *Body Systems Analysis*, 2002):

- Geometria dos componentes, integrando-se para formar a geometria do produto e estabelecer a relação de contato entre flanges com potenciais de variação dimensional na deformação pela extensão, curvatura, rigidez e pelas características de fixação e funcionamento.
- Condições de fabricação do componente relacionada ao vínculo entre material, geometria do componente, tensões finais que ocasionem deformação elástica ou plástica, definindo a variação dimensional final.
- Condição do processo de solda pelas variáveis relacionadas como temperatura, seqüência dos grampeamentos, materiais e geometria entre peças.

- Contribuição dos dispositivos de fixação estabelecida pela sua rigidez para garantir que não haja falha na sua repetição e reprodutibilidade.
- Relação dimensional dos componentes no seu empilhamento, na formação do conjunto ou produto final.

Os complementos às condições específicas para garantia desses requisitos dimensionais são:

- Fazer o condicionamento hiperestático para peças “não rígidas” grandes, onde a ação da gravidade ou retorno elástico possa influenciar na sua posição ou em tensão na união com outra peça.
- Usar pré-qualificadores, que são apoios intermediários para sustentar a peça ou conjunto pela quantidade mínima ideal de elementos de restrição, permitindo uma pré-avaliação dimensional, e então, qualificando geometricamente os outros apoios tornando-os hiperestáticos para garantir o retorno elástico mínimo e conseqüentemente evitar tensão residual final.
- Objetivar a centralização do processo pela variação do sistema de medição, com a média observada (média do dispositivo + média da peça), sendo resultados de validação do item.

Essa integração, portanto, enfatiza o conceito de montagem com os referenciais de apoio pelos seis graus de liberdade espaciais, desenvolvido em cada componente e garantido pela seqüência estabelecida.

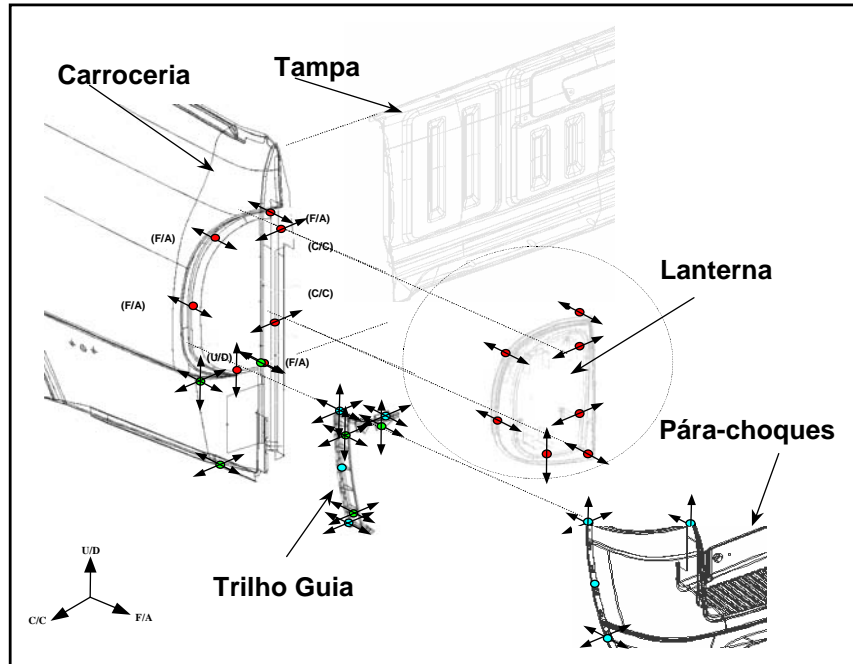


Figura 15 – Exemplo de referenciais combinados às necessidades de montagem e garantias dimensionais

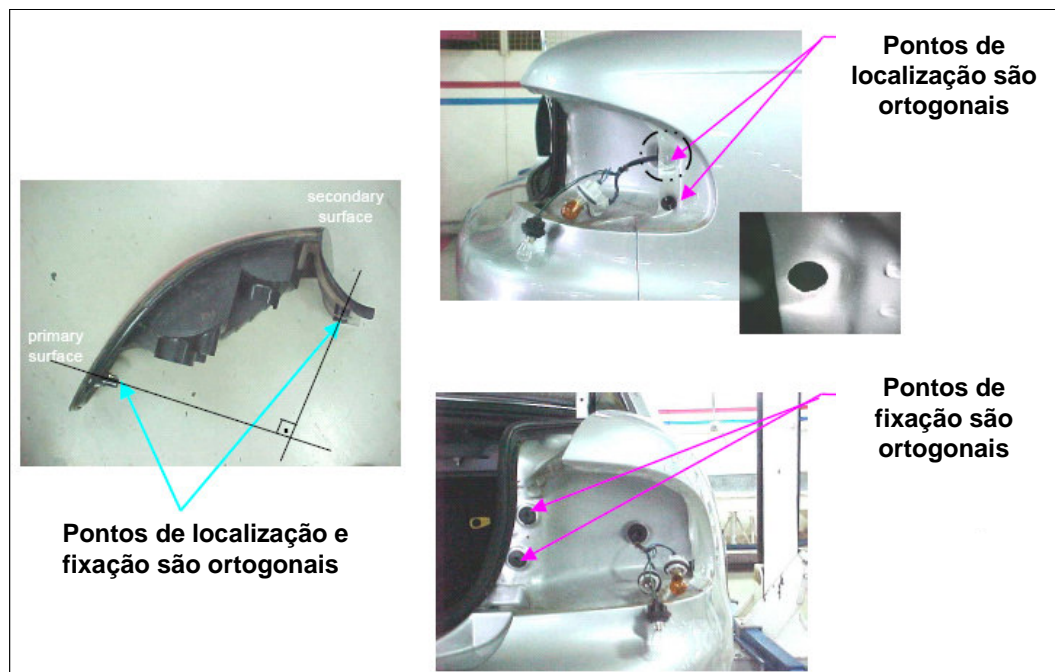


Figura 16 – Exemplo de aplicação prática de referenciais combinados às necessidades de montagem e garantias dimensionais

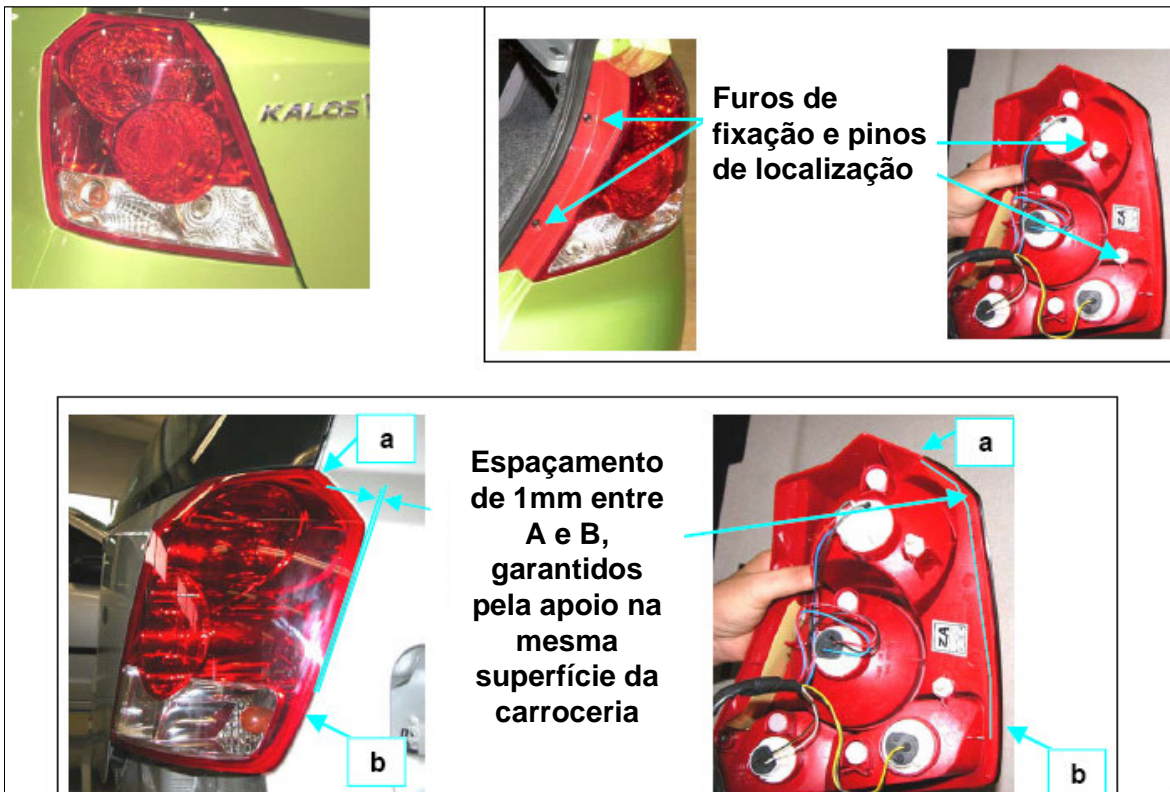


Figura 17 – Exemplo de aplicação prática de referenciais combinados às necessidades de montagem e garantias dimensionais

6.1.2.1.2 Elementos técnicos de compensação dimensional

Definidos como artifícios técnicos (capturados da prática de desenvolvimento de projetos) que minimizam os efeitos de empilhamento, a abordagem sobre robustez e questões para os requisitos dimensionais para o processo são aplicadas ao desenvolvimento de carrocerias em quatro soluções:

- O espaçamento técnico, que representa espaçamentos propositalmente aplicados ao desenho de geometrias de flanges entre componentes que minimizam fisicamente o empilhamento de tolerâncias ou as imperfeições ou desvios de processo.
- As flanges de escorregamento, que transferem as tolerâncias de correlação entre componentes para o dispositivo de processo de montagem, pois elimina o empilhamento entre elementos nos seus apoios e elementos de localização.

- O recalque para calibração de flanges, como artifício para estabilizar a tolerância geométrica de flanges de apoio para empilhamento.
- A geometria do empilhamento de componentes, sendo projetada com definição de tolerâncias dimensionais e geométricas que validem o conjunto final.

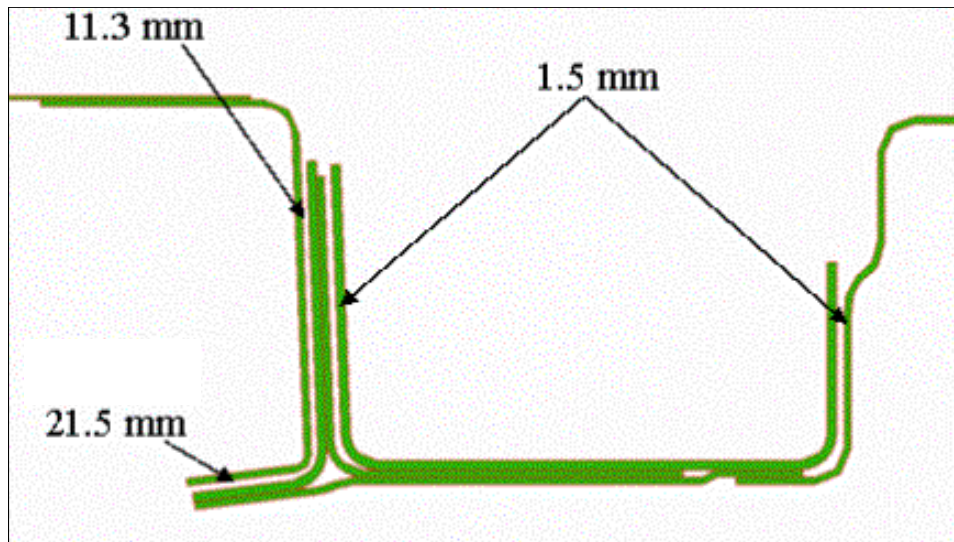


Figura 18 – Exemplo de aplicação prática de espaçamento técnico

Os padrões de geometria dimensional são os principais elos de ligação entre as atividades de desenvolvimento e otimização de produtos e processos apresentados no diagrama operacional, pois correlacionam os aspectos de geometria, robustez, compensações dimensionais, elementos críticos, consistência sobre tolerâncias e aspectos estatísticos de ajustes, sendo exigências sobre procedimentos de validação e monitoramento de processos.

Resume-se então pelos tópicos que serão abordados para cada atividade do diagrama:

- Requisitos dimensionais para o produto;
- Requisitos dimensionais para o produto, aliados à robustez dimensional;
- Requisitos dimensionais para o processo;
- Elementos técnicos de compensação dimensional;
- Características chaves do produto e do processo;

- Desenvolvimento consistente de tolerâncias;
- Desvio da média X tamanho da variação (Cpk);
- Valores de capacidade pela exigência sobre itens de aprovação de produtos e processo e
- Utilização de Função perda para tomadas de decisões.

6.1.2.1.3 Padrões de rigidez

Os conceitos de padrões de rigidez, aplicados em análise e controle dimensional, definem-se pelos mesmos conceitos de análise estrutural, seja por meio de ensaios ou por elementos finitos.

A sua aplicação pode ser definida por três variáveis: deformação de flanges de contato por peso, seqüência de grampeamento, geometria e tolerância entre componentes.

As variáveis complementares de estudo são:

- Estudos de relação entre componentes;
- Extensão e forma de flanges (painéis metálicos);
- Geometria e degrau de superfícies;
- Retorno elástico de elementos e
- Interação entre componentes.

O resultado esperado dos estudos é identificar as características chaves e elementos críticos para cada conceito existente, gerando as possibilidades de solução de engenharia por modificações, para o produto, de geometria, espessuras, pontos de ancoragem e, para o processo, relação com pressão de grampeamento apoio e localização de peças, espaçamento entre os apoios, tamanho, repetição e reprodutibilidade dos dispositivos.

6.1.3. Cenários de análises de produto

6.1.3.1. Padrões de robustez

A identificação e relacionamento de padrões de tolerâncias e capacidades dimensionais e geométricas de produtos e processos, incluindo os critérios de projetos como espaçamento técnico, folgas, flanges de escorregamento ou encosto, geometrias e direções de encosto, são os elementos de compensação e simplificação dos empilhamentos de tolerâncias e acomodações de geometria do projeto com relação à determinação de sua robustez dimensional. Na figura 20, mostra-se uma referência de engenharia robusta, com aplicação dos critérios de projeto para a criação de combinações ortogonais para a definição da melhor solução para espaçamento, alinhamento e nivelamento.

Definem-se as características funcionais do produto pela validação estatística (variância e empilhamento linear).

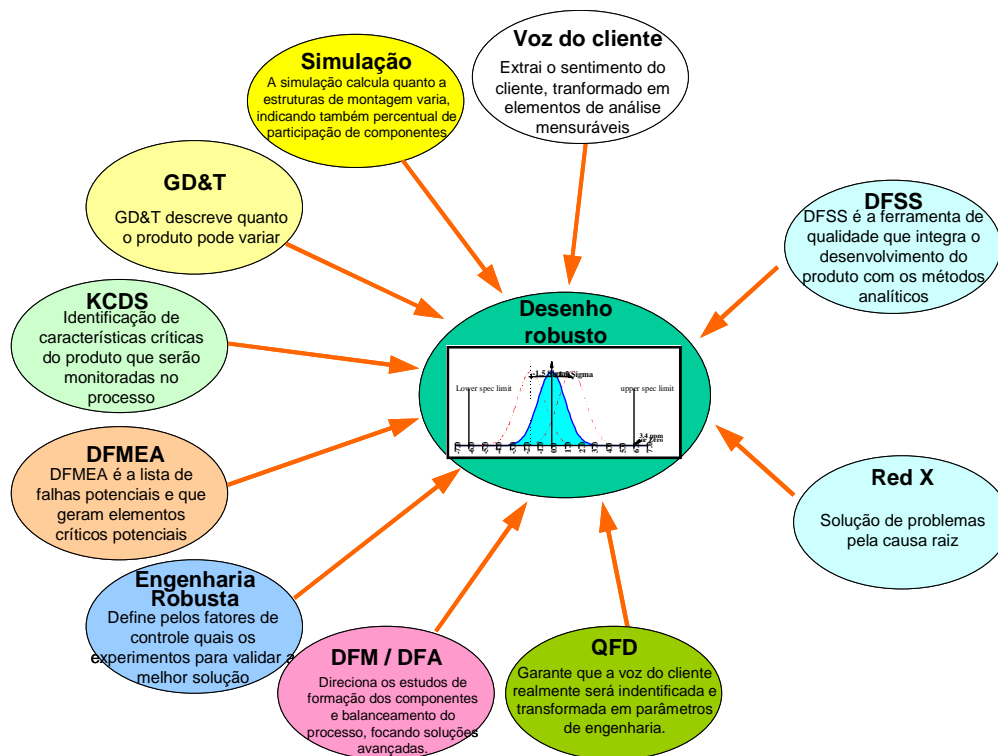


Figura 19 – Exemplo de ferramentas de qualidade aplicadas

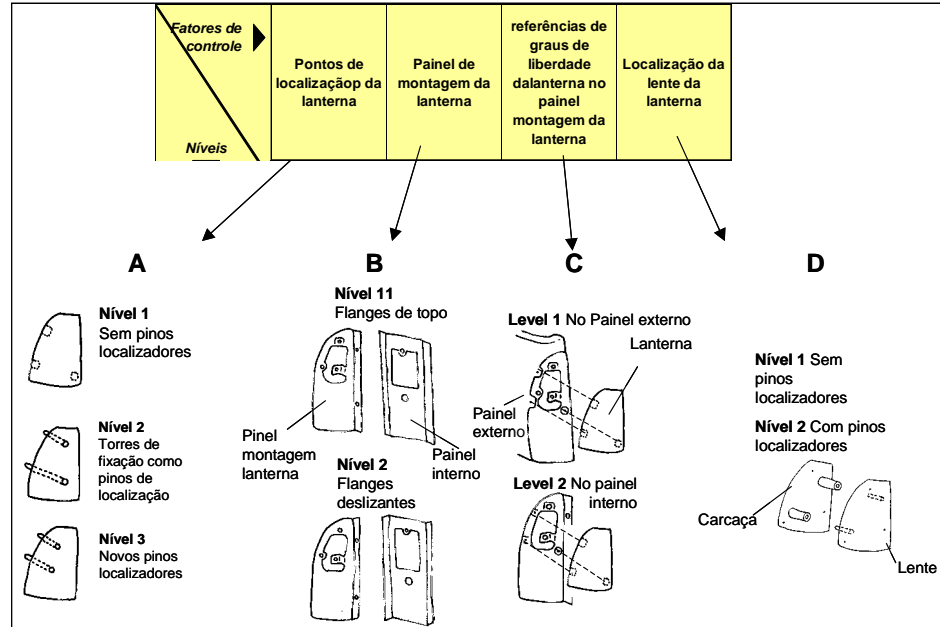


Figura 20 – Exemplo de Engenharia robusta aplicada

A abordagem sobre robustez do padrão de geometria dimensional define um dos itens mais importantes do processo de empilhamento, pois desenvolve a validação de peças montadas pelo resultado sobre o conjunto (AUTO/STEEL - *Stamping Process Variation*, 1999).

A abordagem sobre elementos técnicos de compensação dimensional, padrões de rigidez e padrões de robustez, aplicados à construção de estruturas em chapa, são necessários para se garantir a correlação entre cálculos estatísticos e flexibilidade dos componentes que as compõem.

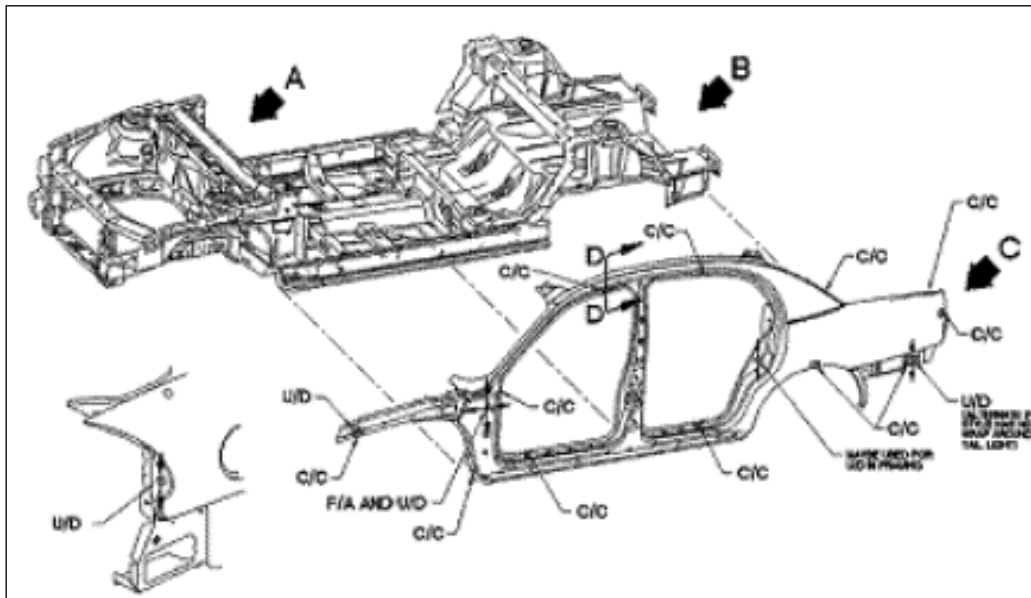


Figura 21 – Exemplo de aplicação de elementos de localização de um painel lateral combinados às necessidades de montagem e garantias dimensionais

6.1.4. Tolerâncias dimensionais e geométricas

O uso da linguagem de tolerância geométrica tem como objetivo definir uma estrutura de representação técnica que se baseie no projeto, levando em consideração a montagem e funcionamento do produto.

Em seguida se faz o relacionamento de referenciais e, atrelados a ele, as tolerâncias geométricas a serem geradas e estabelecidas a elementos desse produto, sendo diretamente ou indiretamente ligados aos referenciais principais.

O princípio técnico baseia-se na adoção de referenciais que eliminam os graus de liberdade do componente e a variação dimensional do produto se dá por localização prévia sobre apoios e elementos de localização.

6.1.4.1 Padrões de tolerâncias geométricas

O ponto de partida para a avaliação sobre padrões de tolerância geométrica define-se pela relação dimensional prevista entre componentes até a formação

do produto final, indicada com princípios para tolerâncias e funcionamento de componentes:

- Número de empilhamentos reduzido para um melhor resultado, pois significa menos tolerâncias concorrentes;
- Distribuição de elementos de apoio e localização os mais próximos possíveis das extremidades do componente, conferindo maior estabilidade distribuída para o componente;
- Conformação do componente definindo a sua variação dimensional, pois havendo a possibilidade de retornos elásticos, deformações, desvios dimensionais, haverá necessidade de compensações nas ferramentas de produção;
- Quanto mais centralizada a variação dimensional do componente, mais centralizada será a variação do conjunto e
- Materiais associados às condições de processos de fabricação, permitindo melhor conformação e conseqüente variação dimensional controlada.

A tecnologia e regulamentações da lei são os padronizadores dos trabalhos em engenharia. As normas ASME, ISO e QS determinam as referências abordadas para elementos e tolerâncias ASME Y14.5M, procedimentos de desenvolvimento e aprovações de produtos e das regulamentações pelo Detran e órgãos internacionais, europeus e norte-americanos.

A tolerância geométrica (ASME Y 14.5 M, 1994) desvincula-se dos padrões de aplicação de tolerância dimensional que devem ser utilizadas apenas para especificação de tamanho, para um conceito que determina a relação entre elementos de apoio ou de localização.

Por meio desse parâmetro criado, determinou-se um novo conceito de tolerâncias, em que criação de referências funcionais determinou o vínculo da função do produto ao quanto ele poderia variar, sendo ao mesmo tempo um referencial de dimensionamento.

O padrão geométrico determina-se então por esse relacionamento.

6.1.4.1.1 GD&T – *Geometric Dimensioning & Tolerancing* (Tolerância e dimensionamento geométrico)

É a grafia de uma linguagem técnica internacional desenvolvida para permitir que projetistas e engenheiros representem o sentido exato das informações de tolerâncias em projetos com uniformidade e mesmos termos ou critérios.

Os conceitos, símbolos e estrutura matemática do GD&T definem de maneira precisa e lógica as zonas de tolerâncias para manufatura, sendo aplicadas a elementos individuais ou grupos, em peças ou subconjuntos. A aplicação de tolerância geométrica em um produto dá-se pela análise do conceito funcional, geométrico e de processo de fabricação do estabelecido ou a se estabelecer para cada componente.

6.1.4.1.2 ASME Y 14.5 M – 1994 – *Addendum* 2004

É a última versão da norma industrial que se refere a dimensionamento e tolerâncias geométricas. Essa norma estabelece práticas uniformes para dimensionamento e tolerâncias geométricas aplicadas em desenhos de engenharia e documentos relacionados. O diferencial básico de sua estrutura às outras normas está no fato de se determinar referenciais para restrição dos graus de liberdade do produto ao se tolerar.

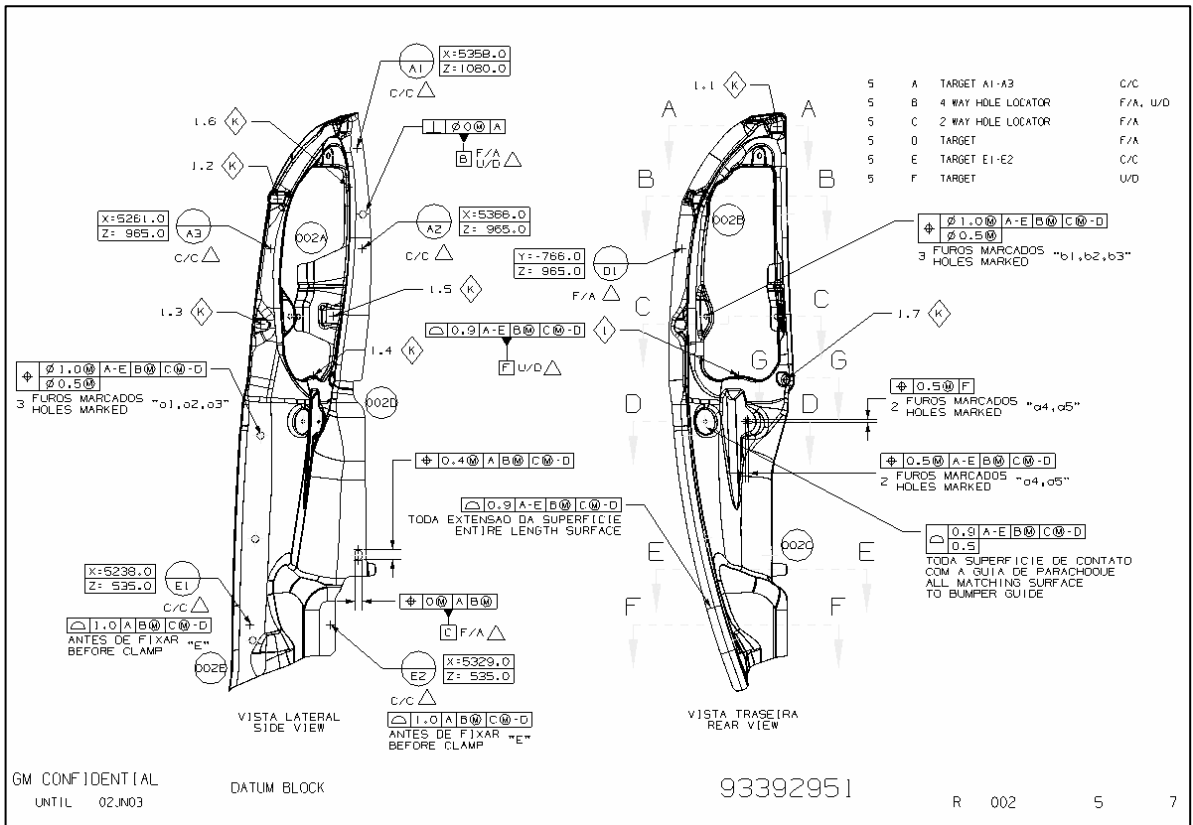


Figura 22 – Exemplo de aplicação de tolerância geométrica

6.1.4.1.3 Aplicação e validação de GD&T - Aspectos sobre referenciais, bônus, variações, tolerâncias (tipos, aplicações).

O uso dessa linguagem tem como primeiro objetivo a avaliação estrutural e funcional do produto. Em seguida, se faz o relacionamento de referenciais e, atrelados a ele, as tolerâncias geométricas a serem geradas e estabelecidas a elementos desse produto, que devem ser diretamente ou indiretamente ligados aos referenciais principais.

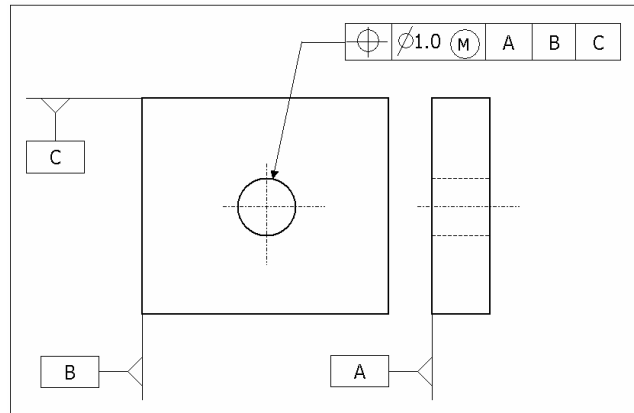


Figura 23 – Exemplo didático de aplicação de referenciais pela ASME Y 14.5 M

Levando-se em consideração o modelo didático mais simples, conforme mostrado nas figuras 23 e 24, A,B e C são os referenciais que eliminam os graus de liberdade do componente, e a variação dimensional do elemento furo se dá por uma tolerância de posição em torno de um diâmetro de 1mm.

A utilização de condição de máximo material tanto para furos funcionais do componente quanto em elementos de localização é uma prática que permite atribuir ao processo de variação dimensional como um todo uma variável intrínseca ao sistema e que deve ser adicionada aos cálculos de variação.

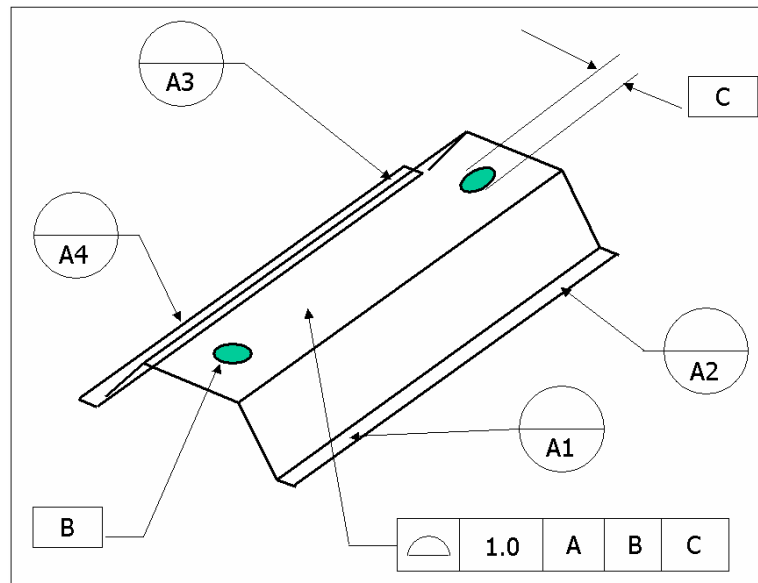


Figura 24 – Exemplo didático de aplicação de referências pela ASME Y 14.5 M

A validação dimensional se dá pela avaliação de vários fatores combinados e a aplicação de tolerância geométrica, com uso de ferramentas de qualidade e simulações estatísticas aplicadas a cada caso.

Durante esse processo de desenvolvimento, cada componente tem o seu conceito avaliado em várias combinações e a combinação ótima que envolve aspectos de construção, transformação, variação dimensional e acessos de montagem são escolhidas e implementadas.

A avaliação estatística se dá pela análise de resultados dessas combinações pelas composições de variações dimensionais tridimensionais.

A base para avaliação está no resultado propriamente dito com a análise de percentual de participação dos elementos tolerados dimensionalmente, comparados à capacidade e análise de perda de função quando existirem resultados acima dos limites de projeto.

6.1.4.1.4 Normas vigentes

As normas internacionais têm designações específicas para tolerâncias dimensionais e geométricas e a tendência é que elas venham a se equivaler

pela premissa de criação de apoios e elementos de localização que definam os referenciais de inspeção pelos referenciais de montagem e funcionamentos do produto e que, portanto, as tolerâncias dependentes entre elementos sejam referenciadas pelos elementos de localização e fixação dos componentes.

6.1.5. Resultado das simulações

O desenvolvimento de simulações baseia-se no princípio de empilhamento de componentes considerados como seqüência de montagem na árvore de produtos, na sua estrutura, pelos referenciais de localização e tolerâncias geométricas e dimensionais aplicadas aos elementos de contato no empilhamento (GM CORPORATION, *Simulation Theory*, 1998).

Os cálculos estatísticos empregados são definidos por capacitação e desempenho do processo. Os seus resultados são demonstrados em índices de capacidade e desempenho, conhecidos por C_p , C_{pk} , P_p e P_{pk} , respectivamente.

O principal objetivo do resultado de uma simulação é definir o resultado medido das especificações de tolerâncias e processos, para avaliação direta sobre o comportamento real dos conceitos elaborados nos cenários.

A prática dimensional tem como objetivo enquadrar a variação geométrica e dimensional no campo de ± 3 sigma, o que reflete a realidade de resultados encontrados. O controle de processos tomado à condição de C_p e C_{pk} permite a antecipação e a ação sobre as variáveis do processo.

As principais fontes de variação dimensional podem ser:

- Variação durante localização, indicando perdas entre as diversas etapas do processo;
- Variação durante fabricação, indicando perdas devido às imprecisões e desgastes de equipamentos, dispositivos e ferramentas e
- Variação durante montagem, indicando perdas devido às imprecisões de dispositivos e métodos impróprios do operador.

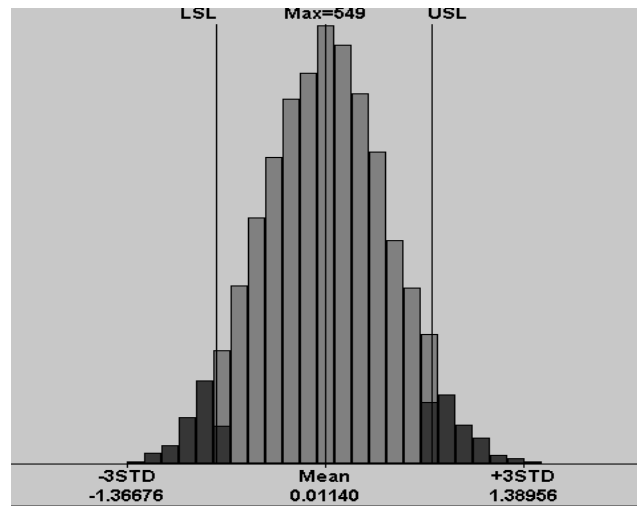


Figura 25 – Exemplo de resultado estatístico

Analogamente ao processo de fabricação, a montagem de componentes automotivos de carrocerias também está sujeita à teoria de capacidade dimensional e geométrica, mas há um aspecto preponderante que é a interação entre componentes pela sua geometria, seqüência de montagem e empilhamento de tolerâncias.

Para esse aspecto, as avaliações geométricas são fundamentais por elaborarem análise sobre deformação entre regiões de contato por máximos e mínimos e tolerâncias, indicando o uso de espaçamento técnico, referenciais, elementos de localização de cada componente e a solução dos dispositivos, com a certeza de restrição nos seis graus de liberdade (chamados 3-2-1).

Quanto mais estreita for a relação de montagem entre os componentes que tenham ligação dimensional e geométrica, melhor será a garantia sobre o resultado projetado, pois menor é o empilhamento e conseqüentemente a variação dimensional.

Um aspecto importante sobre a utilização de furos e apoios é que positivamente eles estabelecem um padrão estável de repetição e seqüência da operação,

porém a maleabilidade das peças de metal estampado e o manuseio são comprometedores da reprodutibilidade.

Essa abordagem remete à localização funcional, que relaciona seqüência de montagem com os pontos de mensuração para controle dos componentes produzidos.

A análise sobre a qualidade dimensional sobre manufatura, conforme abordagem a seguir, relaciona características, influências, geometria, peso e os próprios processos em si (AUTO/STEEL - *Body Systems Analysis*, 1999):

- Relacionamento de características de plantas de alta e baixa automação, por significar diferentes níveis para atingir capacidade dimensional;
- Influência da seqüência de processo de montagem para a garantia dimensional do produto, pois relaciona somatória geométrica com referenciais correlacionados;
- Variação dimensional – número de grampos de entrada e saída e a variação do seis sigma para painéis de grande porte, o que define alta ou baixa restrição;
- Variação de montagem – conceitos de projeto podem permitir ajustes de montagem sobre subconjuntos;
- Relação entre componentes e subconjuntos montados – há um aumento da media na instalação devido ao peso do produto, e compensações devem ser feitas para garantir centralização da média;
- Montagem – a relação entre quantidades de apoios demonstra que quanto mais sujeição na montagem, melhor o resultado e a média na medição;
- Estratégias de controle dimensional – quanto mais próximo das extremidades do componente, mais precisa deve ser a localização da peça, pois há um melhor balanceamento dos elementos participantes, garantindo uma maior relação entre eles;
- Instalação – quanto mais próximos estiverem os elementos de localização das peças e das contra-peças mandantes, maior será a precisão do conjunto e
- Qualidade e satisfação do cliente – a relação entre medições e a satisfação do cliente é indireta, isto é, a causa de uma reclamação não está necessariamente

ligada a ela, mas relacionada ao componente e seus referenciais. Por exemplo: embora o cliente não reclame do espaçamento maior da porta por não percebê-lo, ele reclama do ruído causado por esse espaçamento.

A combinação entre processo, tolerância e conceito de produto permite o fechamento entre estruturas de montagem por se garantir essa relação desde o componente, subconjuntos até o veículo completo.

6.1.5.1 Desvio da média X tamanho da variação (PPAP, 1999)

A qualificação dimensional pelo seis sigma está aliada à expectativa de centralização da média das variações dimensionais dos elementos envolvidos no empilhamento formador do conjunto montado.

Entende-se por centralização das médias como sendo a centralização matemática da variação de posição das distribuições estatísticas, possíveis para $C_p=1,33$ ou $1,67$ que é a dispersão geométrica dimensional, e $CP_k=1,00$ que é dispersão de posição - (veja figuras 26 e 27) .

Embora a relação C_p e CP_k seja aplicada, e a busca sobre a validação dimensional obedeçam a esses conceitos, sabe-se que a estabilidade do processo depende de muitas variáveis, entre elas materiais empregados, retorno elástico do componente pela geometria desenvolvida, manuseio, rigidez de dispositivos, tensões de estruturas soldadas, entre outras.

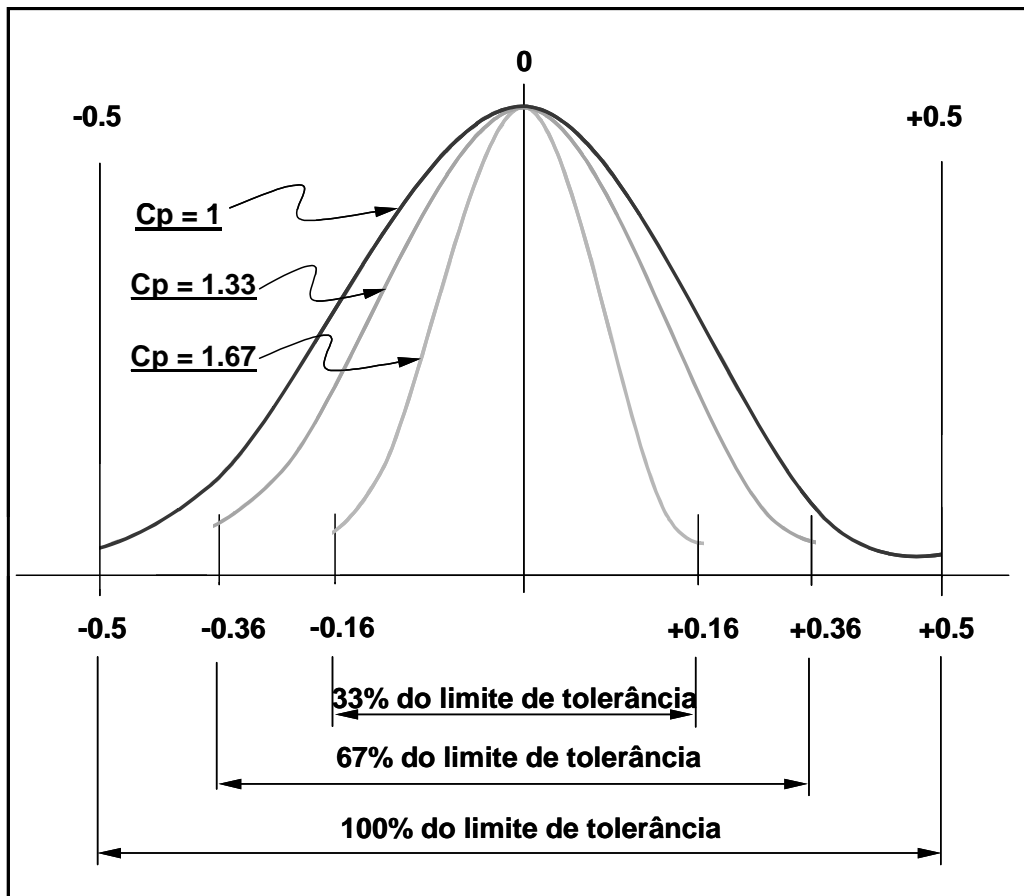


Figura 26 – Campo de estabilização pelo $C_p = 1,00$ a $1,67$

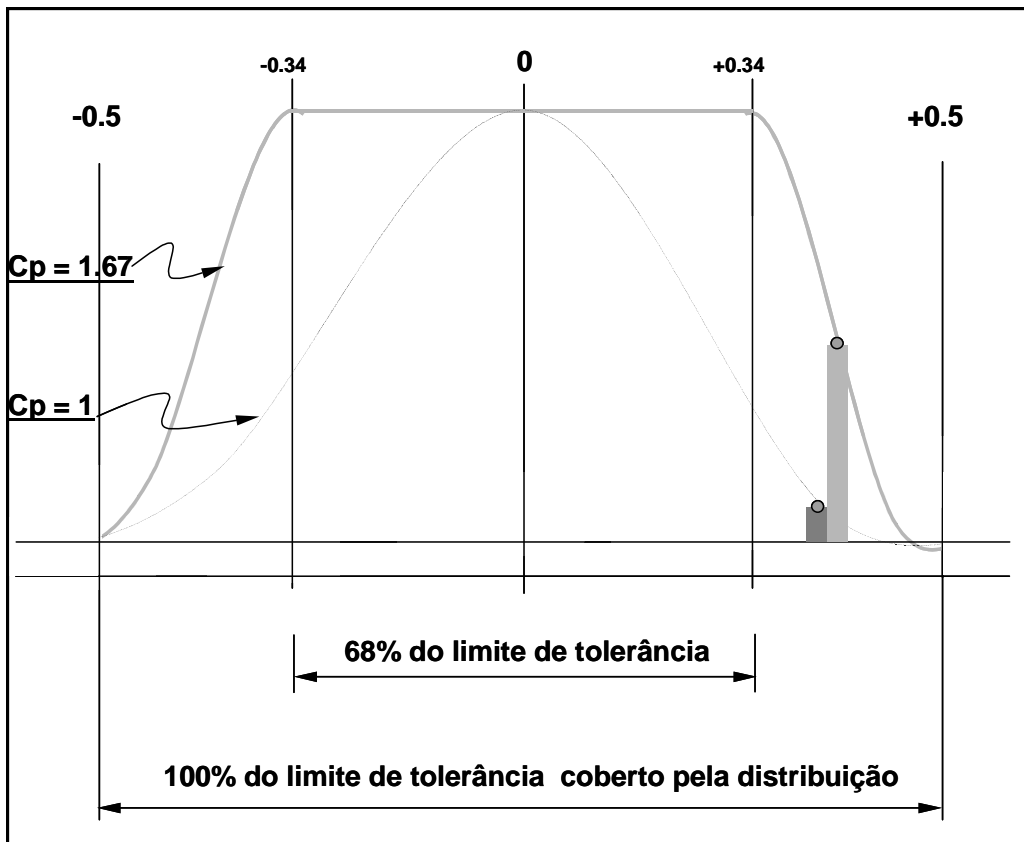


Figura 27 – Campo de centralização pelo $C_p = 1,67$

A base comum para se conseguir a aproximação das médias das variações com o valor de centralização tem sido a administração sobre desvios geométricos e dimensionais por lote produzido, o que significa dizer que na prática o C_p desses tipos de componentes seja de valor alto ($C_p = 1,33$ ou mais, em cada lote), mas que não há um controle efetivo sobre a sua localização – CP_k no campo de especificação dos limites de tolerância.

6.1.5.2 Padrões de validação dimensional de projetos (Aspectos de validação geométrica por tolerâncias)

Para garantir o processo de validação dimensional de um projeto, desde a intenção de *estilo*, até a liberação do produto final, validado e em produção, a engenharia dimensional trabalha em uma seqüência básica de atividades que se

integram à seqüência de desenvolvimento do produto, iniciada pela especificação dos objetivos dimensionais para folgas e alinhamentos somados à análise crítica: ao *estilo* proposto, tolerâncias geométricas e dimensionais de peças e dispositivos.

Com essas análises, a decomposição da estrutura do veículo em conjuntos, subconjuntos e peças permite uma avaliação de regiões críticas a serem melhor estudadas.

Incluindo-se nesse trabalho, as análises de processos de transformação (estampagem, injeção e moldagem), são estabelecidas as referências para o dimensionamento peça a peça.

Sobre empilhamentos, conforme mencionado no item de controle produtivo por técnicas estatísticas, é importante lembrar as análises sobre tolerância estatística e tolerância “pior caso” (*limit-stack ou worst-case*): a escolha se faz a partir do empilhamento, verificando se o comportamento dimensional obedecerá a uma estrutura de variação estatística, ou se será linear.

Embora o parâmetro de abordagem para aprovação de produtos seja a tolerância aplicada estatisticamente, na avaliação e validação de variações dimensionais, o empilhamento linear deve ser considerado para se permitir montagem em quaisquer circunstâncias.

Por fim, o ciclo se fecha com a validação dimensional do projeto e do produto produzido, por meio do plano de inspeção, elaborado a partir das características chaves do produto e da seqüência necessária de peça para subconjunto, de subconjunto a conjunto, até o fechamento da estruturas soldadas e componentes.

Conforme definido no capítulo 6.2.2.1 Padrões de geometria dimensional – Aspectos de Desenvolvimento Geométrico, a utilização de artifícios como espaçamento técnico, flanges de escorregamento, recalque para calibração de flanges e composição do empilhamento de componentes, desvio da média *versus* tamanho da variação (Cpk), valores de capacidade pela exigência sobre itens de PPAP (Cp=1,67 e Cpk= 1,0) e a utilização da função perda para

tomadas de decisões quanto às tolerâncias envolvidas são elementos participantes do processo de simulação geométrica e dimensional para melhoria do empilhamento, que aperfeiçoarão e simplificarão processos de montagem e inspeção.

A variação está relacionada a (*AUTO/STEEL - Stamping Process Variation*, 1999):

- Ponto de verificação na peça – quanto mais rígida for a área, menor será a variação.
- Projeto de dispositivo de medição – quanto maior a quantidade de grampos menor será a variação.
- Tamanho, complexidade de geometria e espessura – quanto menores, menos complexos e espessos, menor a variação.
- Controle sobre o processo de estampagem – quanto mais linhas, maior a variação de média sobre mesmas ferramentas e mesmas preparações de processo.
- Manuseio e estocagem – quanto maior o componente, maior será a possibilidade de variação por amassamento.
- Modificação na prensagem – compensações de processo a processo e ferramenta a ferramenta faz com que se tenha maiores variações.

6.1.6. Validação do projeto

6.1.6.1 Características chaves do produto e do processo.

Todos os fatores de controle de características chaves do produto são importantes para a sua garantia dimensional, e são aplicados a elementos relacionados entre si na mesma peça ou entre peças.

Quando esses elementos apresentam um risco importante à montagem, desempenho, segurança, ou ainda desvio sobre alguma requisição legal do produto (indicando que, se sua variação ultrapassar os limites especificados, há

perda de função), esses elementos são categorizados como características chaves do produto.

Por outro lado, se a perda de função for ocasionada pela falta de capacidade de processo, categorizam-se também os elementos como características chaves do processo, com foco em controle sobre variáveis de operação do processo produtivo.

Uma vez estabelecidas as características chaves do produto, aplicam-se ferramentas de qualidade, como o PFMEA para identificação das características chaves do processo.

A característica chave, seja ela de produto ou processo, pode ser identificada por vários tipos de ferramenta de qualidade ou índices de qualidade que mostrem o grau de satisfação do cliente com relação ao produto, fazendo parte, portanto, de um processo contínuo de melhoria da qualidade.

Conseqüentemente, esse raciocínio indica que quanto mais características chaves existirem, menor será a robustez do projeto, pois maiores serão as necessidades de processo robusto (automáticos) para se garantir a conformidade de desempenho do produto.

Para a capacidade do processo vale a mesma relação inversamente proporcional, pois processo não capaz é processo que não atende aos requisitos de repetição nos níveis adequados à velocidade requerida ao processo.

6.1.6.2 Padrões de determinação de elementos críticos

Elo importante no processo de desenvolvimento e validação do produto, capacitação e validação do processo, os padrões de determinação dos elementos críticos baseiam-se nas ferramentas de qualidade vigentes como meios de avaliação de potencialização de elementos críticos para atender aos padrões e necessidades de controle sobre o produto e o processo.

Dentre as ferramentas mais aplicadas tem-se: DEMA, PFMEA, Engenharia Robusta, DFM, DFA e Função perda.

6.1.6.2.1 Função Perda

A função perda idealiza a mensuração da probabilidade de falha da variação calculada em questão pela sua especificação de limites de projeto.

Essa associação tem como objetivo correlacionar as variações de projetos e de processo, criando a possibilidade de tomadas de decisões sobre melhorias e elementos a serem modificados.

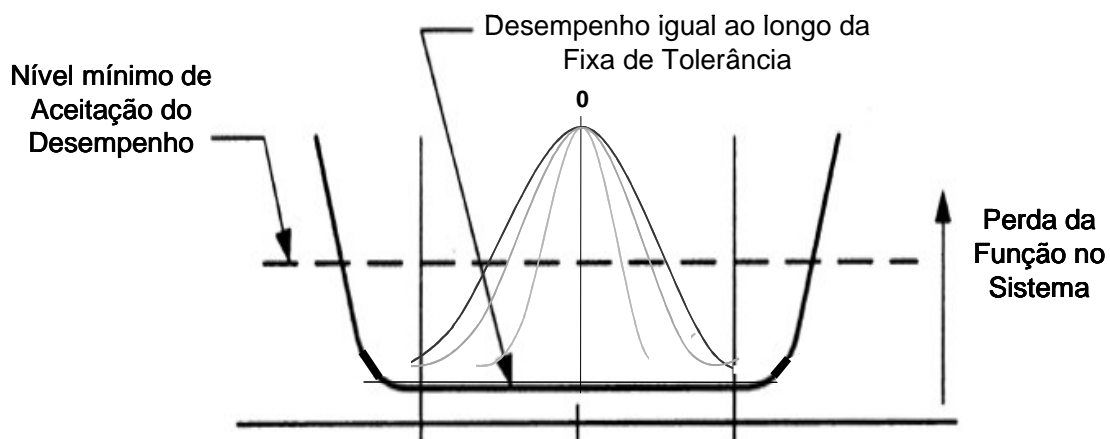


Figura 28 – Função perda

A função perda da qualidade de Geinichi Taguchi (CREVELING, 1996) demonstra o risco potencial de perda de desempenho, segurança, montagem e deve ser aplicada ao processo de tolerâncias geométricas que envolvem a distribuição de variações dimensionais com o potencial de restrições combinadas à severidade de utilização do elemento tolerado.

Esse risco é graduado em alto, médio e baixo, indicando necessidade de garantia absoluta sobre a especificação (alto), reparos ou reavaliação (médio) e monitoração (baixo) do processo produtivo.

7. ATIVIDADES E PADRÕES DE CAPACIDADE DO PROCESSO

A capacidade do processo é alcançada pela sua validação, por meio das atividades de capacidade requerida, estrutura do processo, cenários, meios de controle e confirmação do processo.

7.1. Capacidade requerida

A capacidade requerida baseia-se nas informações obtidas do artigo *AUTO/STEEL - Stamping Process Variation*, 1999, que desenvolve o raciocínio sobre controle estatístico de processo, considerações sobre variações e tolerâncias.

7.1.1 Efeito da média no CEP

A diferença que possa haver entre a média e o desvio da média direciona a análise sobre o custo de alteração e pode então ponderar o ajuste como forma de correção do processo.

7.1.1.1 Princípio da validação x monitoramento do processo

Validar o processo de produção significa realizar um estudo de capacidade em cada etapa de operação, avaliando-se a repetição e reprodução do produto em dispositivo, assentamento entre flanges, deformação nas ações dos grampos de fixação e o resultado do dimensionamento do produto.

Monitorar o processo de produção significa estabelecer cartas de controle sobre as características chaves. O mapeamento desses resultados propicia a avaliação sobre a evolução do processo.

7.1.2 Consideração sobre tolerâncias

Sob o contexto de efeitos de variação de médias (Taylor, 1999), existem dois motivos para se padronizar tolerâncias: garantir qualidade final e minimizar perdas de produtividade.

As tolerâncias devem considerar cinco fatores:

- Capacidade do processo, dimensionada a partir de padrões de avaliação de repetição e reprodução da operação de fabricação;
- Montagem, com a aplicação de tolerâncias sobre a geometria das peças e a impossibilidade de redução de variação pelo uso de espaçamentos técnicos e flanges de escorregamento;
- Limitações no sistema de dimensionamento que estejam vinculados à rigidez e à fixação do dispositivo. O uso dos apoios adicionais qualificados se faz necessário para garantir a avaliação elementos importantes em estado livre antes de ser fixada;
- Uso da estratégia sobre estabilidade C_p da tolerância da peça e avaliação sobre o resultado no conjunto, mesmo que o C_{pk} esteja baixo para avaliação do impacto do desvio na sua montagem e
- Relação entre peças com foco no empilhamento linear para garantir montagem dos componentes.

7.1.3 Consideração sobre variações

As variações dimensionais e geométricas se definem pela variação do componente produzido e das montagens realizadas. O uso sobre a metodologia dos 95% de seis sigma tem como objetivo definir, a partir do monitoramento do processo, quais variáveis serão avaliadas e solucionadas quando determinadas suas causas raízes.

Define-se como limite de estabilidade 1 mm para peças rígidas e 2 mm para peças flexíveis e grandes. Se o desvio pudesse ser eliminado, muitas peças atingiriam $C_{pk} = 1.33$. O desafio da validação dimensional é eliminar os desvios.

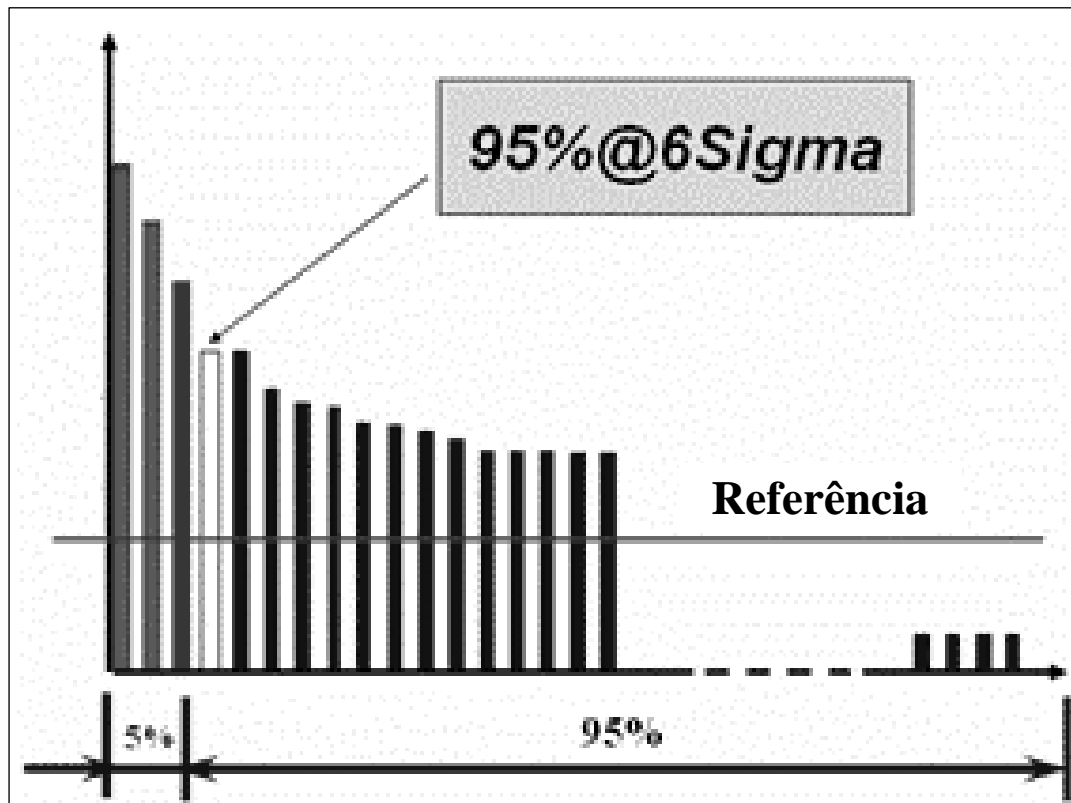


Figura 29 – Controle sobre 95% de 6 sigma (GENERAL MOTORS, GMS, 2000)

O controle sobre variações se dá pelo procedimento padrão da ISO / QS 9000, que é o Processo de Aprovação de Peças de Produção (PAPP).

Muito embora haja o acompanhamento das unidades fabricadas segundo esses parâmetros, assume-se também que estruturas muito complexas como as carrocerias veiculares sejam ajustadas para contemplarem a validação dimensional e geométrica.

A abordagem por meio da medição dos resultados dimensionais permite a evolução do processo de melhoria contínua, existindo no desenvolvimento de projetos uma preocupação constante com técnicas de estilo para geometria de componentes, que avaliados pelos planos ortogonais devem garantir o empilhamento com a menor variação dimensional possível.

Conforme a teoria de utilização das ferramentas de qualidade sobre Processo de Operação na construção de carrocerias, a garantia dimensional de conjuntos montados deve-se à relação entre características chaves dos elementos de cada componente, relacionados aos seus referenciais e mutuamente aos componentes de composição do conjunto. A partir da relação geométrica e seqüência de montagem, a cadeia dimensional está formada.

Essa cadeia, ponto de partida na abordagem de teorias de empilhamento de tolerâncias, define como exatamente os componentes se empilham e como se processa a integração das tolerâncias, tornando-se fatores de controle sobre as variações.

7.2. Estrutura do processo

7.2.1 Requisitos dimensionais para o processo

As questões (*AUTO-STEEL - Measurement Systems Capability*, 1999) para os requisitos dimensionais para o processo a partir dos elementos participantes dessa padronização geométrica dimensional são:

- Centralização do processo, onde estatisticamente significa garantir capacidade de 1,67 conforme estabelecido pelo processo de PPAP e que se define pelo conceito estatístico de deslocamento permissível da curva de variação.
- Variação do sistema de medição, que se valida pelo procedimento de repetição e reprodutibilidade (MAS, 1995), em que a capacidade do dispositivo deve ser até 30% do campo de tolerância e
- Previsão de variação dimensional de conjuntos montados em função do retorno elástico devido às tensões resultantes.

Conforme abordagem do artigo sobre capacidade dos sistemas de dimensionamento referenciado, é de se esperar a ocorrência de tensões residuais que gerem distorções dimensionais, e cujo controle deve ocorrer para garantir as montagens subseqüentes. Demonstram-se os seguintes itens relevantes:

- Sistemas de dimensionamento, seja em estado livre dimensionado por alímetros, sistema computadorizado de coordenadas (CMM) ou restrito, onde há fixação da peça em um dispositivo mecânico que restringe fisicamente seus graus de liberdade;
- Sistema de localização das peças em que 15% da variação se deve à repetição que se relaciona com rigidez;
- Seqüência de grampeamento para compensação das deformações entre componentes e
- Apoios adicionais, que podem gerar tensões residuais dos sistemas de medição.

Para se identificar a estrutura de um processo, deve-se fazer a relação entre áreas e as atividades e objetivos de cada uma delas.

As áreas que compõem a estrutura do processo dimensional são estilo, produção de peças, montagens de conjuntos soldados, pintura, montagem de componentes e sistemas parafusados, e têm como ponto comum a qualidade de suas operações de fabricação e inspeção.

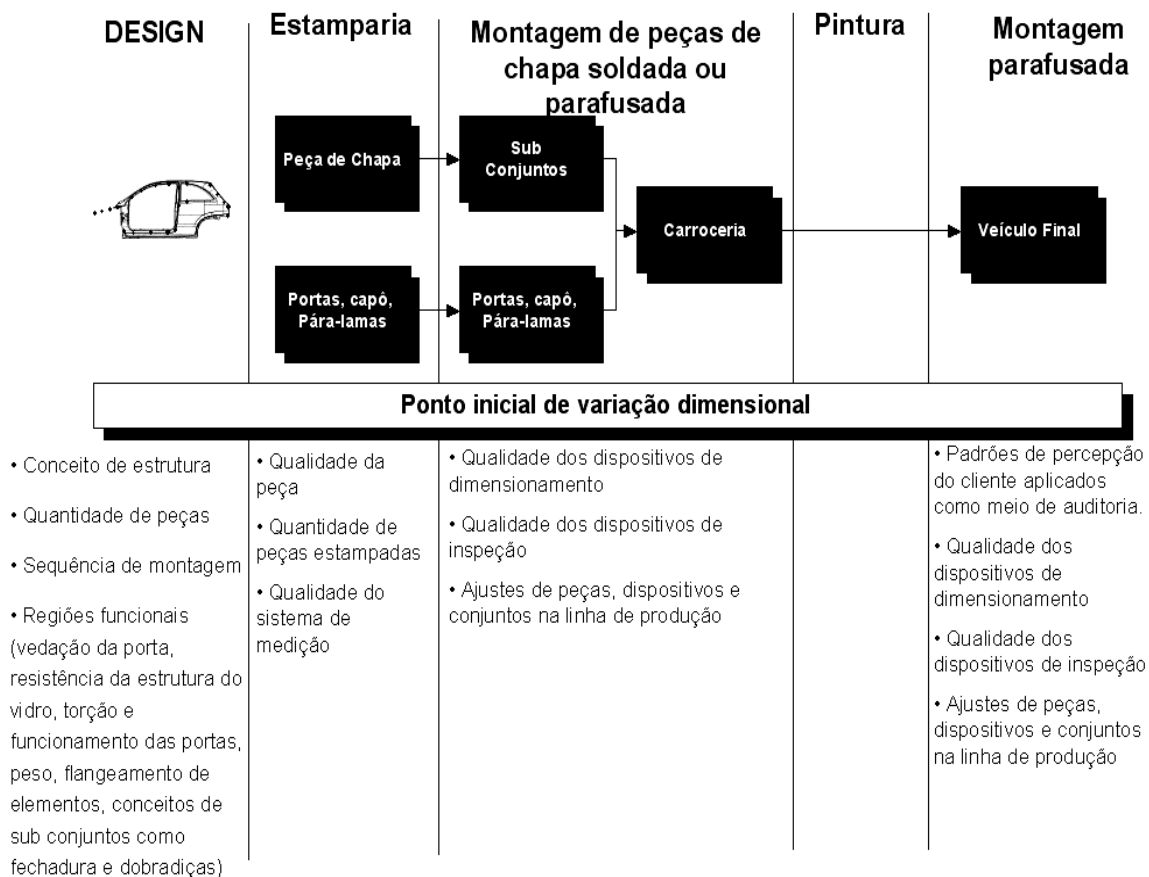


Figura 30 – Estrutura do processo carrocerias de uma empresa automobilística, por áreas e atividades dimensionais.

7.3. Cenários de análises de processos

As capacidades dimensionais e geométricas da estrutura de processos são os elementos para criação de cenários dessas análises. (AUTO/STEEL - Stamping Process Variation, 1999)

Somam-se a esses, por parte do produto, a geometria do projeto e a determinação de sua robustez dimensional.

A concepção de cenários reflete-se nas características da estrutura de produto e a sua formalização é a avaliação sobre a relação da estrutura de subconjuntos do produto e de processo.

Com as especificações definidas para o produto e traduzidas como objetivos de funcionamento e intenção de estilo, ao se determinar a seqüência de conjuntos, devem ser feitas análises conjunto-peça e análises de empilhamento de tolerâncias. A figura 31 exemplifica essa relação.

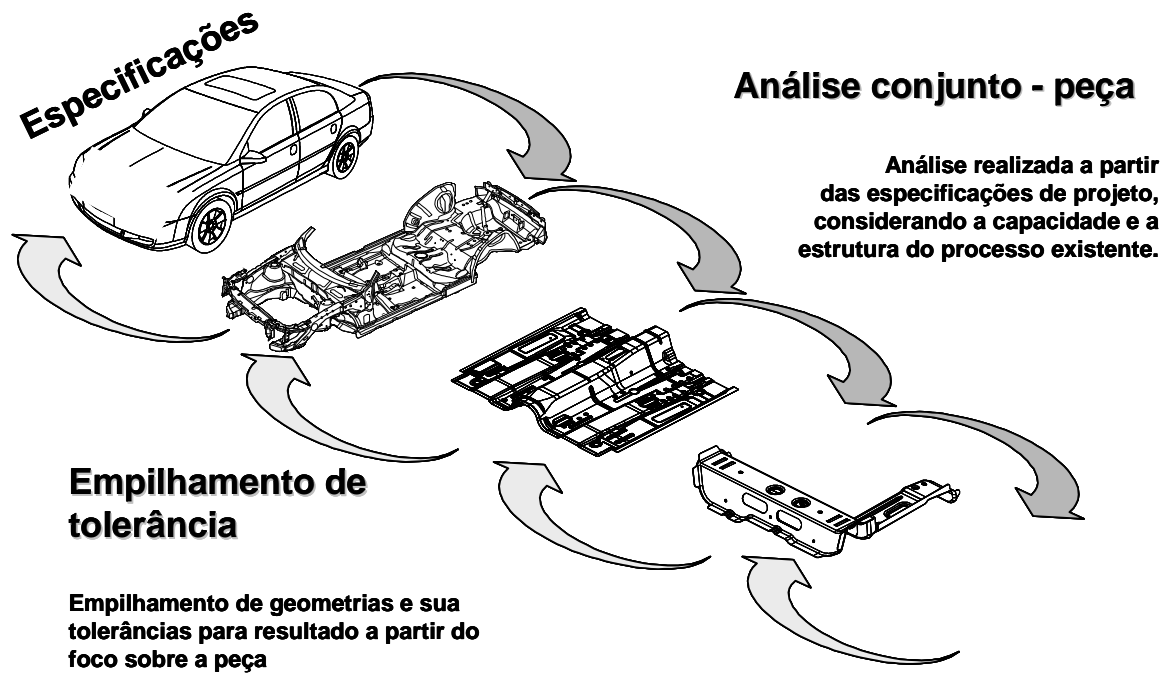


Figura 31 – Estrutura do produto auxiliando para cenários das análises de processo

A concepção do diagrama de Ishikawa (6Ms) para meios de controle de processos pode também ser feita a partir da formação dos cenários de processos, pois auxiliam no mapeamento das propostas quanto a material, método, medição e máquina.



Figura 32 - Diagrama de Ishikawa – critério dos 6M's (BRAZ, 2002 apud HIRAYAMA, 2005)

7.4. Meios de controle do processo

7.4.1 Aspectos de processo - automação, controle e treinamento.

O processo demanda por si só uma série de trabalhos de validação aplicados à estrutura de desenvolvimento, e assim como no produto existem compensações, as variáveis do processo são os medidores da capacidade de construção. (AUTO/STEEL - Measurement Process Capability, 1999)

7.4.1.1 Variação de estampa

Todas as variáveis são elementos de acerto para o processo.

- Desvio, média, C_p e C_{pk} – onde a variação peça a peça somam-se e determinam a variação total;
- Variação de operação a operação – objetiva-se a repetição da média da variação. O seu controle deve ser elaborado a partir dos elementos potencialmente críticos de projeto e determina os elementos do processo para monitoração;
- Variação da operação para o começo e o fim da seqüência do processo – validação sobre a repetição e reprodução do processo.

7.4.1.2 Análise de Variância (ANOVA – *Analysis of Variance*)

Para atingir objetivos de seis sigma de centralização da média, fatores de especificação e simulação devem ser utilizados, pois cobrem o controle sobre potenciais de desvio, que são parte da atividade de aspectos de processos e determinam-se como características de controle de processo. A seguir algumas das variáveis:

- Sistema de dimensionamento com precisão, aferição e rigidez;
- Seqüência de grampeamento com cenários de avaliação de deformações ou desvios como comportamento das peças da operação e da seqüência de montagem;
- Força de fixação;
- Estratégia de localização com correlação direta entre viabilidade de processos e de produtos pela utilização dos mesmos referenciais para inspecionar e montar;
- Conceito de localização do produto – avaliação da geometria e definição dos graus de liberdade para estratégia de localização;
- Geometria da peça (tamanho e complexidade);
- Rigidez da peça (forma) e

- Posição dos Pontos de verificação por meio de controle das variáveis de processo e de sua estabilização, modificações nas linhas de fabricação, manuseio, composição e estocagem de material.

O conhecimento e controle sobre as variáveis são fundamentais para os resultados de variações. Os exemplos de controle são:

- para o processo - pressão do ângulo de estampagem/injeção, peso do mancal de pressionamento, tipo de acionamento hidráulico, mecânico, mancal, progressivo etc e
- para os dados - tenacidade, tensões superficiais, classes de resistência, acabamento e composição metalográfica, acabamento superficial, limite de escoamento etc.

7.5. Confirmação do processo

7.5.1 Padrões de validações dimensionais e geométricas de processos

A validação dimensional do processo define-se a partir de como se estrutura o planejamento, desenvolvimento, validação e problemas de implementação e monitoramento.

7.5.1.1 Planejamento do processo

Realizado por meio de avaliações sobre a capacidade instalada em termos de volume e qualidade dimensional a ser alcançada, tipo de operações que serão efetuadas, padrões geométricos e tamanhos dos componentes e material, tolerâncias padrões e formação de subconjuntos.

7.5.1.2 Desenvolvimento do processo

O desenvolvimento envolve projeto, construção, validação de ferramentas e dispositivos e padrões de validação do processo como R&R, PPAP e PFMEA.

São dessas e de outras ferramentas que surgem as recomendações de criação de características chaves do produto e do processo, por controle de variáveis,

que serão identificadas no processo de produção e manterão o rastreamento pelo controle ao longo da produção.

7.5.1.3 Valores de capacidade pela exigência sobre itens de PPAP

O processo de PPAP pressupõe, em conjunto com o processo de CEP (controle estatístico de processo), prerrogativas para o processo de validação dimensional e estabilidade dimensional para a produção de um produto, definidas por processos estatisticamente estáveis, por meio de distribuições aleatórias.

Portanto, as exigências sobre Cp ou Cpk, Pp ou Ppk determinam a viabilidade técnico-econômica de um produto e de um processo e devem ser aplicadas como diretrizes para esse fim.

7.6. Validação do processo

A validação do processo, com foco em validação integrada (*BODY SYSTEMS - Functional Build*, 1999), que se define pelo desafio sobre desenvolvimento de produtos, aborda as seguintes ações de correlação e garantia sobre a validação do processo sobre o produto, e vice-versa:

- Controle sobre o desvio da média para garantir que não haja extrapolação da tolerância do processo sobre o produto, penalizando sua função;
- Desafios dos sistemas de medição, envolvendo características de rigidez, repetição e reprodução consistente para se tornar referência dimensional para o processo;
- Correlação entre estampados e dimensões de conjuntos, cuja abordagem deve ser interpretada como estudo de validação conjunta, partindo-se da validação dos componentes individualmente para garantir a montagem subsequente e
- Evento baseado na construção funcional, que aborda revisão e aprovação de ferramental para primeira validação de produto e de produção, a fim de garantir aceleração do processo seriado com elementos relevantes, como sistema de fixação de componentes, sujeição de montagem, valores de tensões residuais,

distorções, manuseio, seqüência dos componentes para montagem, solda, cadeia de montagem, cálculos de tolerâncias e relação entre componentes e dispositivos.

7.6.1 Padrões de monitoramento dimensional de processo

- Planos de inspeção de produtos;
- Plano de manutenção do processo relacionado à vida útil das ferramentas;
- Plano de melhoria contínua em que todos os trabalhos devem ser minuciosamente especificados em termos de conteúdo, seqüência, tempo e resultado; todas as conexões cliente-fornecedor devem ser diretas, devendo existir um caminho inequívoco de “sim ou não” para enviar solicitações e receber respostas; todos os fluxos dos produtos e serviços devem ser simples e diretos e todas as melhorias precisam ser feitas em conformidade com o método científico, sob a orientação de um professor e no nível hierárquico mais baixo possível da organização (Decodificando o DNA do Sistema Toyota, 1999);
- “Seis sigma wall” – direção e variação e
- Banco de dados, para formação de histórico e avaliação de tendências.

A validação pode também se basear em dois parâmetros de comparação: desvio associado à variação e estabilização associada à centralização.

Essa relação é direta, pois se pode dizer que o desvio é considerado como resultado de um processo de estabilização, mas que seja justamente o objetivo de centralização.

7.6.2 Desvio e Variação

O desvio é a diferença estável de resultado de dimensionamento do produto no processo.

A variação é a representação da capacidade do processo em função da especificação do produto. É definida por outros dois parâmetros, conforme já abordado no início do capítulo sobre fatores de tolerâncias de relação do

processo com dispositivos e operadores: repetição e reprodução (variações de operadores e de dispositivos).

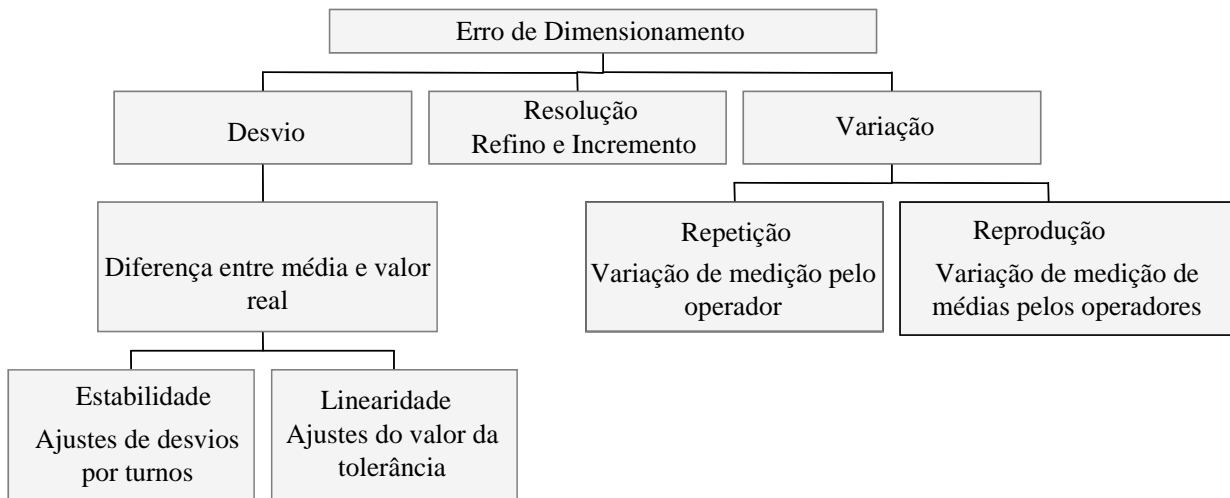


Figura 33 – Relação entre desvio e variação com o dimensionamento

7.6.3 Estabilidade e centralização

A estabilização do processo deve preceder a sua centralização, pois o principal requerimento é a sua validação conforme definido no capítulo 7.1.1.1 Princípio da validação x monitoramento do processo.

Somente após o conhecimento sobre as variáveis de estabilidade e ações para torná-las controladas é que podem ser feitos os ajustes de processo para sua centralização.

A partir da centralização, as variáveis estabilizadas passam a ser monitoradas.

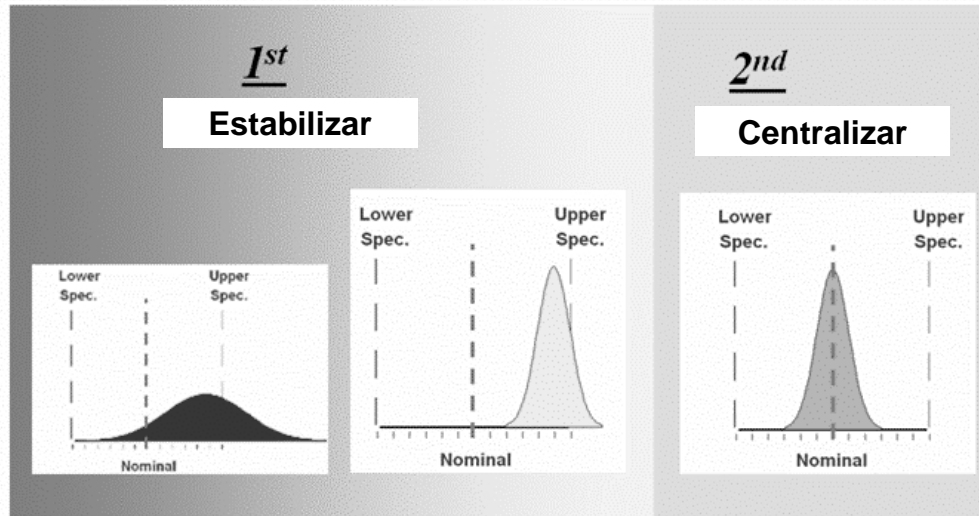


Figura 34 – Relação entre estabilização e centralização (GENERAL MOTORS, GMS, 2000)

8. ESTUDO DE CASO PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E PROCESSOS

8.1. Introdução

Demonstrar o desenvolvimento de validação dimensional de instalação de uma lanterna veicular a uma carroceria, correlacionando as atividades, padrões dimensionais e critérios de engenharia apresentados neste trabalho.

8.2. Justificativa

O avanço de estilos e diminuição gradativa do tamanho de espaçamento entre componentes significa na linguagem técnica redução de tolerância geométrica e melhoria da capacidade de processos.

A ação necessária é garantir a qualidade visual do estilo proposto por tolerâncias de espaçamento, por meio da geometria dos componentes, estudo detalhado do empilhamento de tolerâncias, avaliação de melhores cenários, centralização do processo e validação do produto pelo processo.

8.3. Objetivo

Exemplificar por um caso real a aplicação do diagrama operacional como referência de operação e processo de desenvolvimento de produtos.

8.4. Objeto de estudo – dados de entrada

A definição do produto: um veículo de passeio, de dois lugares, com carroceria em estrutura soldada de chapa em aço carbono, lanterna de polipropileno com lente e carcaça soldadas por fusão térmica e sua instalação por parafusos.

A definição do processo: linhas de montagem automobilística com estações de solda semi-automáticas, montagem de veículo novo na mesma linha do veículo atual, inspeção dimensional de peças, subconjunto e conjuntos com $C_p=1$ e $C_{pk} = 1$, torque de parafusamento de 2,5 N.

8.5. Conceitos

A estrutura do produto deve ser convencional com ausência de molduras para disfarçar variações excessivas entre componentes devido ao objetivo de redução de custos por unidades.

Informações sobre conceitos:

- Do Mercado, no veículo atual com espaçamento entre lanterna e carroceria de 5mm +/-2mm e veículos concorrentes com espaçamento de 3mm.
- Do novo estilo, veículo novo com espaçamento de 2mm +/-1mm.

A estrutura do produto define-se por:

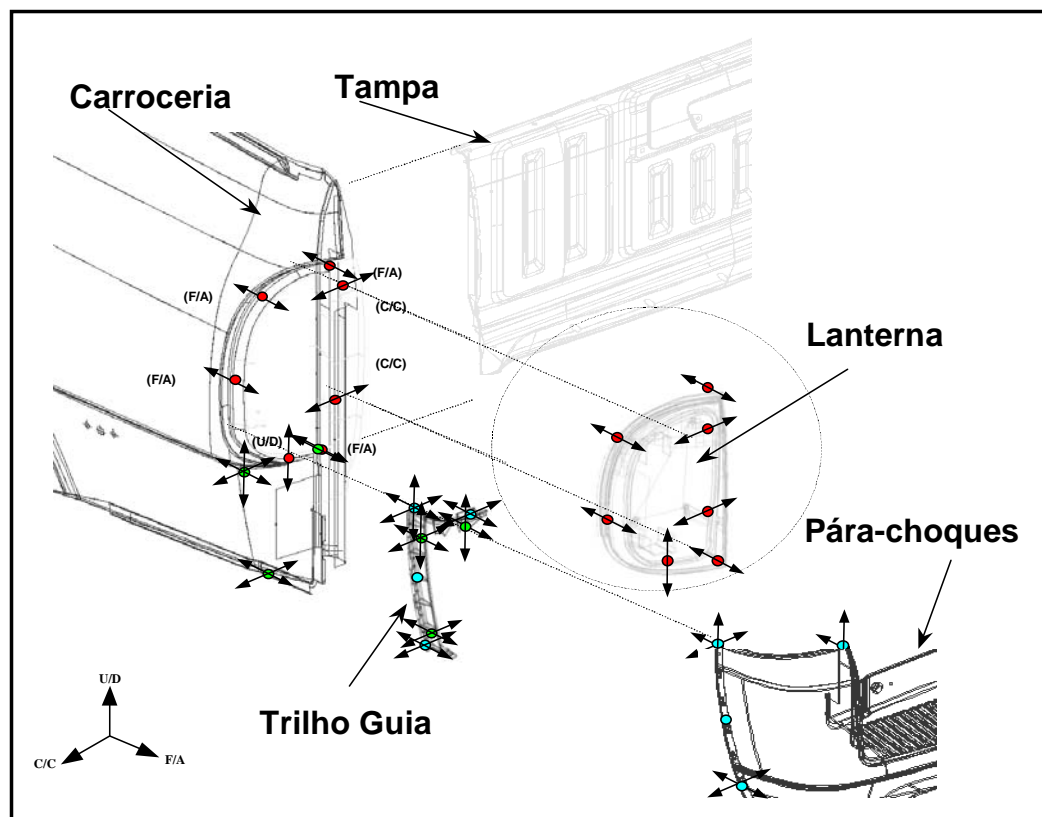


Figura 35 – Estrutura do objeto de estudo

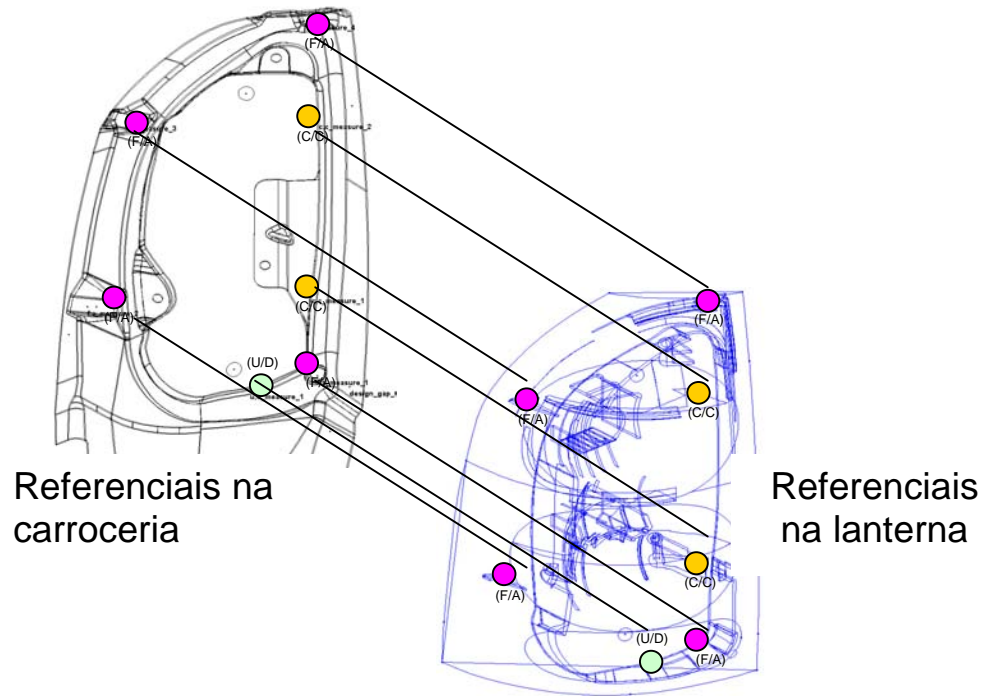


Figura 36 – Referenciais combinados para restrição dos graus de liberdade

A estratégia de localização, restringindo os graus de liberdade é um dos primeiros pontos de avaliação de cenários.

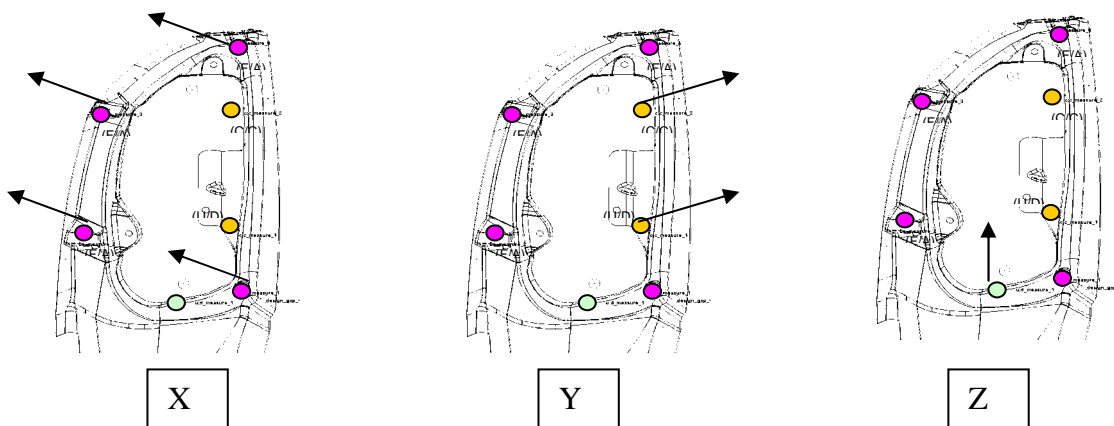


Figura 37 – Graus de liberdade nos eixos X, Y e Z, respectivamente.

Os cenários gerados são dependentes da estrutura apresentada e formam as combinações dos cenários de avaliação e simulação.

8.6. Propostas

As propostas definem-se por cenários de construção geométrica de peças, seqüências de montagem e tolerâncias (para produtos e para processos).

A definição nesse caso deu-se pela variedade de possibilidades de variações geométricas e seqüências de montagem. As tolerâncias consideradas foram as tolerâncias limites da capacidade de produção da carroceria e da lanterna pelo fornecedor.

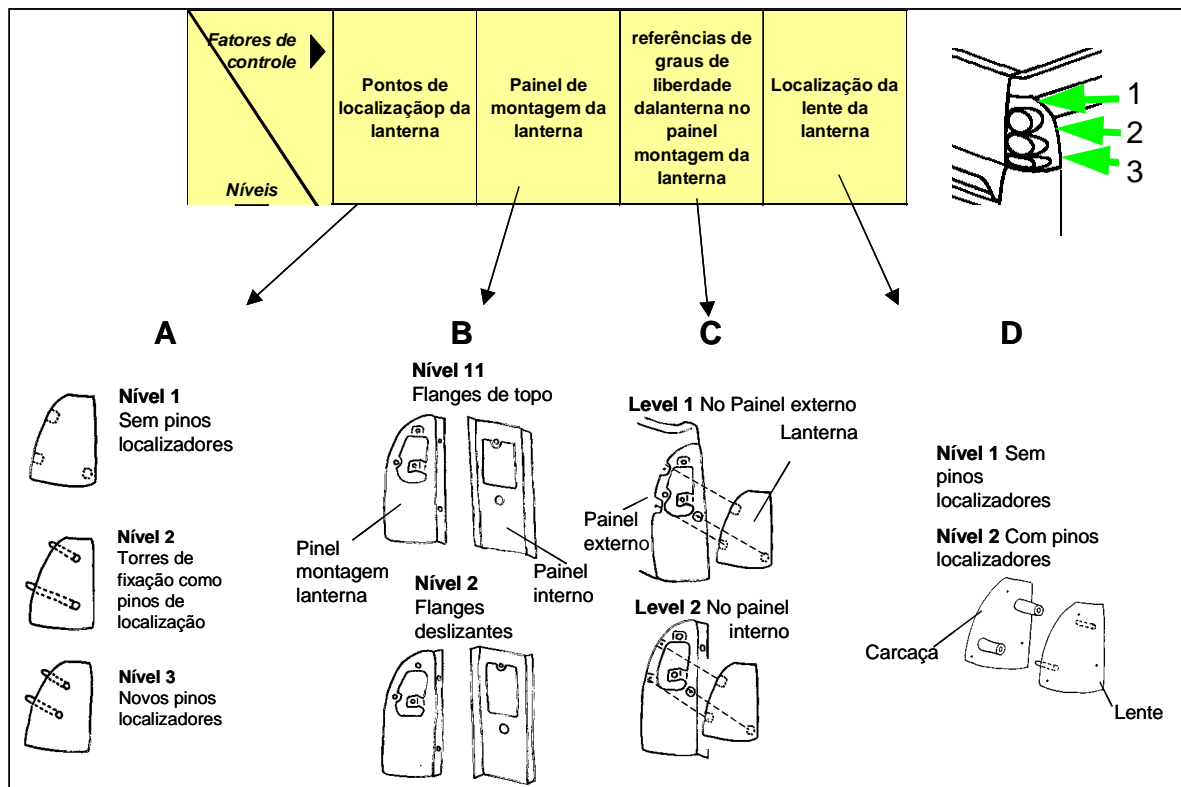


Figura 38 – Fatores de controle para combinações matemáticas de montagem de componentes

No estudo em questão, observa-se que existe a possibilidade de quatro fatores de controle e dois a três níveis de conceitos, para formação dos cenários.

Os fatores de controle são os pontos de localização da lanterna (com três níveis de possibilidades para pinos de localização – sem pinos, torres como pinos e pinos novos), o painel de montagem da lanterna (com dois níveis de flanges – deslizantes e de topo), referências dos graus de liberdade no painel de montagem da lanterna (com dois níveis – no painel externo e no painel interno) e a localização da lente na carcaça (com ou sem pinos).

8.7. Especificações (das informações técnicas de tolerâncias)

Peças estampadas com tolerância de perfil de superfície 1mm e tolerância de posição de furações de 1mm.

Lanterna com tolerância de perfil de superfície 2mm e tolerância de posição de furações de 1mm.

As tolerâncias foram avaliadas a partir de um estudo preliminar com o veículo anteriormente produzido, cujas informações demonstravam consistência para se garantir o espaçamento com variação de +/- 2mm. Para o novo produto, os padrões de tolerância foram modificados.

Tabela 8.7.1 – Comparação entre valores do veículo anterior e do veículo novo

Dados		Veículo anterior	Veículo novo
Tolerância de carroceria	de	+/- 1.0mm	+/- 0.75mm
Tolerância de Lanterna	de	+/- 1.5mm	+/- 1.0mm
Tolerância de espaçamento	do	+/- 2.0mm	+/- 1.0mm
Resultados da Simulação	da	+/- 1.5mm	+/- 0.75mm

8.8. Decisões

Os resultados de cenários e avaliações do veículo anterior geraram ações de desenvolvimento de produto com alterações de tolerâncias necessárias para o novo objetivo de espaçamento com base nas combinações apresentadas.

Dessas combinações, a melhor resposta para o espaçamento deu-se por: apoios sem pinos, flanges de topo, painel lateral externo e pinos na lente.

Devido a algumas circunstâncias de construção, como, por exemplo, pinos em lentes versus solda por fusão térmica, decidiu-se a continuidade pela fusão térmica, pois não havia condições de desenvolvimento do novo processo.

Associados aos remanescentes, a combinação 1,1,1,2 passou a ser 1,1,1,1 e portanto valendo o resultado de +/- 0.9mm.

L8 No.	Fatores de controle				Espaçamento		
	A	B	C	D	P1	P2	P3
	1	2	3	4			
1	1	1	1	1	1.66	1.86	1.79
2	2	2	2	2	1.58	1.67	1.68
3	1	1	2	2	1.50	1.31	1.35
4	2	2	1	1	2.27	1.86	1.81
5	1	2	1	2	1.91	1.27	1.28
6	2	1	2	1	2.47	2.50	2.41
7	1	2	2	1	1.74	2.12	2.16
8	2	1	1	2	1.47	1.28	1.27
1. Optimum Gap (Melhor Nominal)	2	1	2	1	2.22	2.45	2.45
1. Optimum Gap (Melhor Mínimo)	1	1	1	2	1.50	1.35	1.33

Tabela 8.8.1 – Combinações por fatores de controle e resultados de simulação

8.9. Manutenção

A validação do produto e do processo dá-se inicialmente pelos referenciais opostos: na carroceria, depois de inspecionada por medição direta, monta-se um simulador com tamanho nominal de projeto para avaliação subjetiva e por atributos, e a lanterna é montada em um dispositivo de verificação.

Ambos apresentam os mesmos referenciais e seus resultados catalogados.

Com a aprovação individual, as peças são montadas entre si com o objetivo de se avaliar características intrínsecas ao processo de montagem, como deformações, detalhamento visual da relação entre os elementos de percepção do cliente, e se algum critério foi atingido.

Os resultados de avaliações de simulação e medição de produtos indicam quais os elementos críticos (os maiores participantes da variação do produto no processo). Estes são os itens a serem colocados no processo de monitoramento.

9. ATIVIDADES E PADRÕES DE OTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS E PROCESSOS APRESENTADOS POR UM ESTUDO DE CASO

As atividades e padrões de otimização de produto e processo determinam-se pela oportunidade de resolver problemas e ser ativamente voltada para a melhoria contínua, que também pode ser classificada de monitoramento para redução de custos por oportunidades.

Subdividem-se pelas atividades apresentadas, potenciais de melhoria, desvio X variação, definição matemática, ajustes de produto e processo, re-confirmação do processo por revalidação; a otimização de produtos e processos determina a seqüência de atividades completa para solução de problemas, alinhando-se ao desenvolvimento do produto e do processo com a possibilidade de colher todas as informações necessárias para melhoria contínua.

Os potenciais de melhoria estão nas peças, nas ferramentas, nos dispositivos, no processo, estabelecidas pelas informações de medições em bancos de dados.

9.1. Introdução

Demonstrar a solução de um problema de interferência entre a lente e a carroceria com revalidação dimensional de instalação de uma lanterna veicular a uma carroceria, correlacionando as atividades, padrões dimensionais e critérios de engenharia apresentados nesse trabalho.

9.2. Justificativa

As condições reais de produção seriada e os desgastes de ferramentas são os fatores principais de desvios dimensionais para condições de projetos atuais.

Após a validação de processo e produto, o monitoramento da produção demonstra tendências e necessidades de melhorias.

A terceira etapa do diagrama operacional trata o assunto de otimização como processo seguinte do desenvolvimento, com objetivo de buscar melhorias sobre as possibilidades de falhas.

9.3. Objetivo

Exemplificar por um caso real a aplicação do diagrama operacional como referência de otimização de processos e produtos.

9.4. Objeto de estudo – dados de entrada

A partir da mesma base de estudos do caso de desenvolvimento, elabora-se um novo objeto de estudo visando potenciais de melhoria, confirmados pela repetição de variação por meio do controle sobre 95% de seis sigma.

Nesse novo estudo, levantou-se um problema de potencial de interferência entre a lente e a carroceria, com espaçamento mínimo de 0.2mm.

9.5. Conceitos

Desvio x Variação: essa é a base do problema apresentado entre a lanterna e a carroceria.

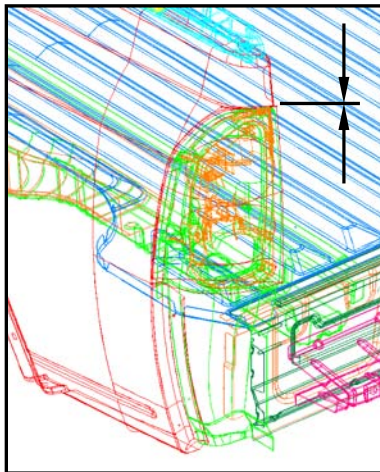


Figura 39 – Problema de interferência entre lanterna e carroceria

A partir da estrutura do produto e do processo, temos a relação direta entre esses sistemas, que serão estudados para melhoria da condição final do espaçamento.

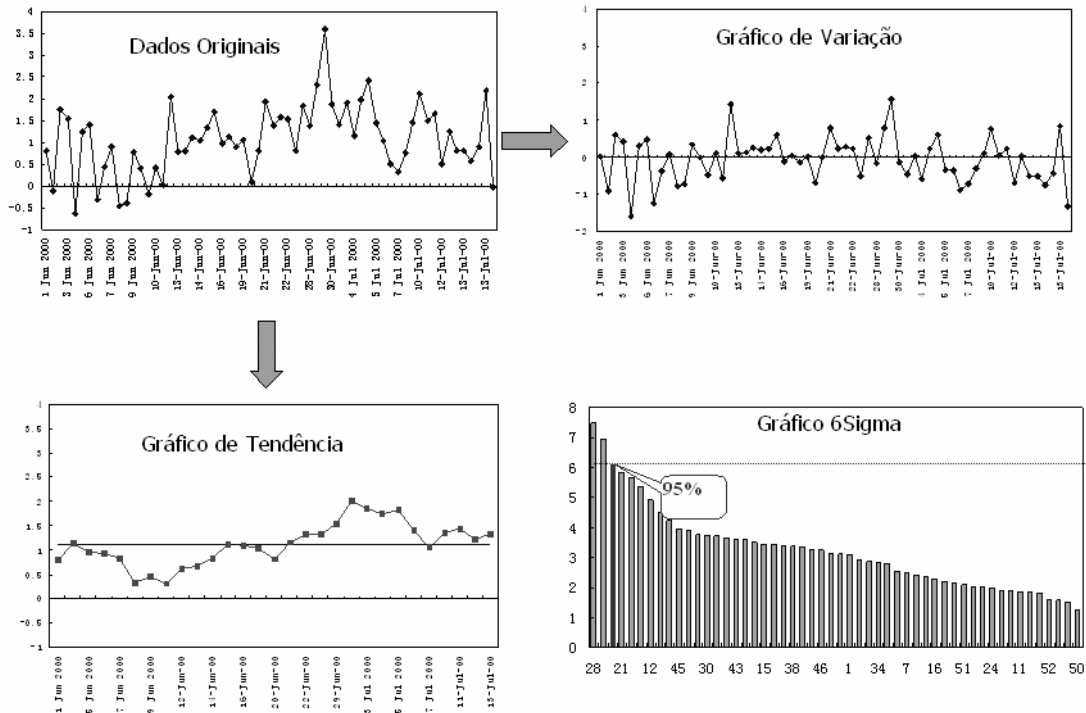


Figura 40 – Relação de dados de variação com direção para avaliar desvio versus variação

Além do Gráfico 95% de seis sigma (Pareto), outro elemento gráfico de análise é o gráfico de tendência, que representa visualmente as ocorrências, possibilitando ações imediatas para correção do processo.

A lanterna tem como característica desvio da nominal para mais, em +0.7mm, com distribuição normal de seis sigma de +/- 0.15mm (-3sigma = +0.50mm, +3sigma = 0.80mm). Os valores de Cp e Cpk são respectivamente 5.33 e 0.67, determinando nitidamente desvio nominal com alta capacidade de repetição do processo.

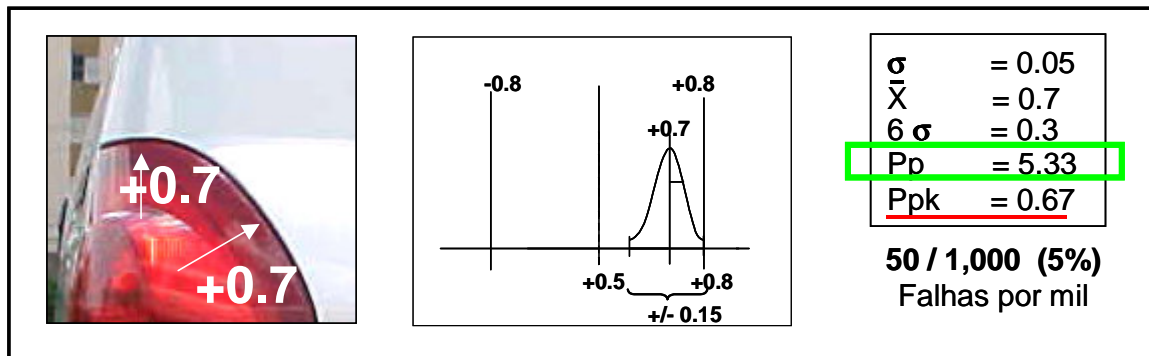


Figura 41 – Dados de medição da lanterna

A carroceria tem como característica desvio da nominal da lateral para mais, em +0.8mm, com distribuição normal de seis sigma de +/- 0.50mm (-3sigma = 0, +3sigma = 1.0mm). Os valores de Cp e Cpk são respectivamente 1 e 0.4, determinando desvio nominal com média capacidade de repetição do processo.

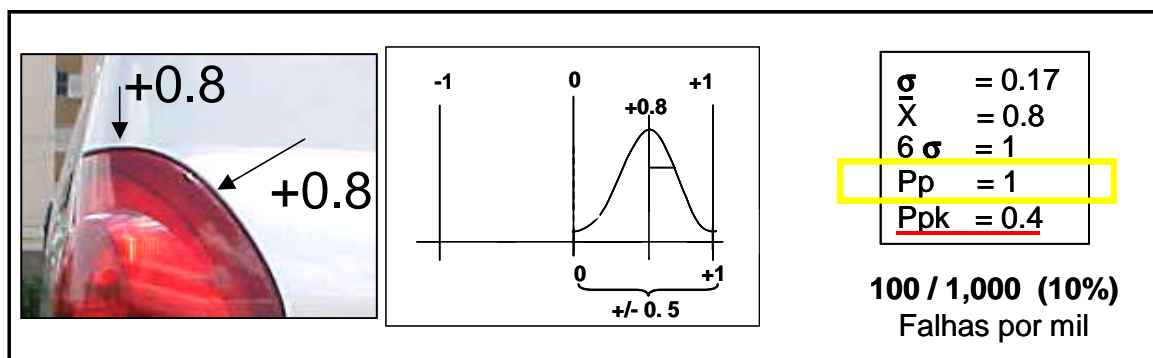


Figura 42 - Dados de medição da carroceria

Com os três elementos demonstrados (desvio, gráfico e Cp/CPk) para lateral e lanterna, conclui-se que a causa raiz é o desvio dimensional das duas peças, que somam-se por estarem com desvios para os lados que apresentam incremento à possibilidade de interferência.

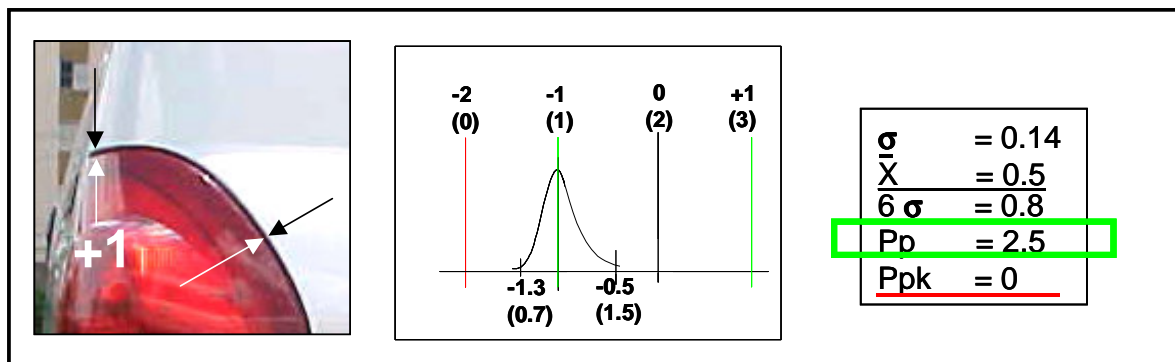


Figura 43 - Dados de resultado do espaçamento (os valores em parênteses são de espaçamento)

9.6. Propostas

Associando-se os cenários às definições matemáticas, a fase das propostas consolida-se como a fase do levantamento das possibilidades de soluções.

A avaliação inicial que se faz é o cálculo de relação direta por análise de variância e por empilhamento limite (linear) sobre o resultados de medição dos componentes para extrapolação estatística do resultado do espaçamento.

Para análise de variância, o resultado é um espaçamento de 1mm como média, com $-3\sigma = -1.3\text{mm}$ e $+3\sigma = -0.5\text{mm}$, configurando o desvio apresentado.

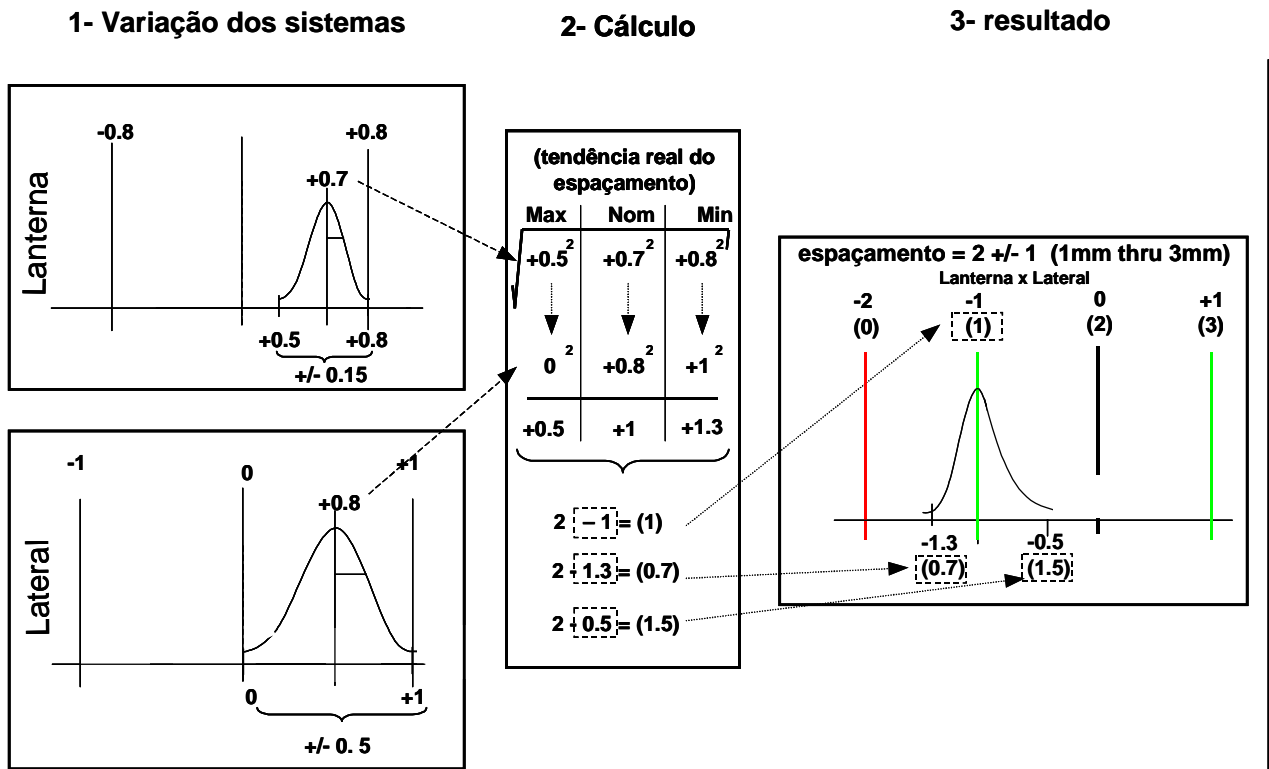


Figura 44 - Dados de resultado de análise de variância do espaçamento (os valores em parênteses são de espaçamento)

9.7. Especificações

Esta é a fase em que produto e processo interagem para consolidar as reais possibilidades calculadas, objetivando a finalização do desenvolvimento: na otimização, relaciona precisão com variação, direcionando ajustes de produto ou do processo.

No estudo de caso, a solução matemática define-se sobre a centralização do processo da lanterna e da lateral, o que redefine a variação do espaçamento com nominal = 2mm, e variação de +/- 0.52mm.

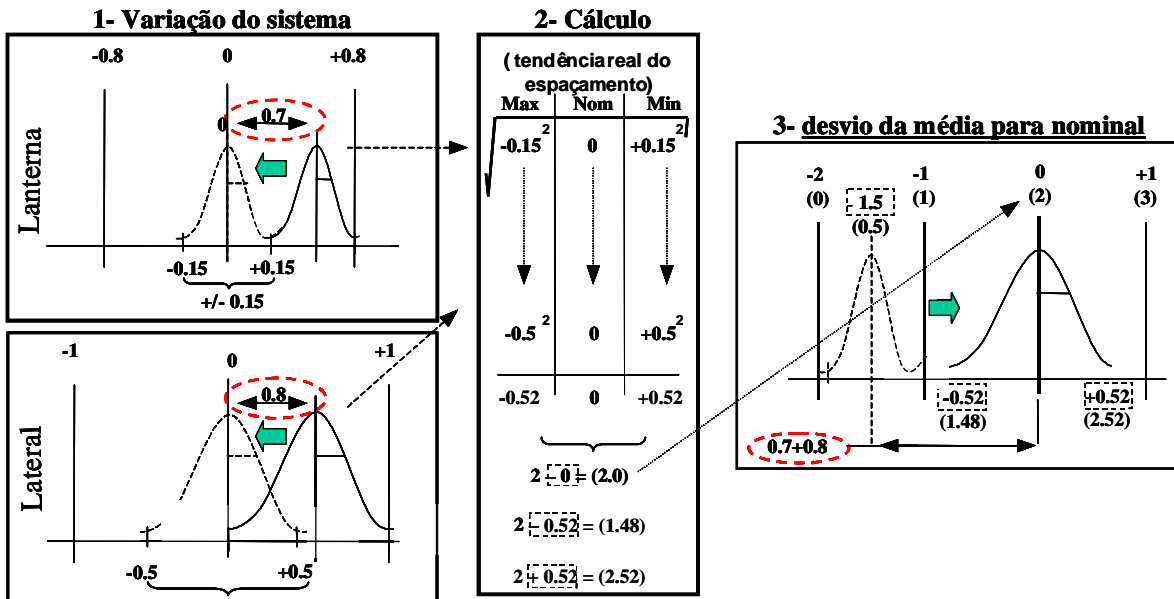


Figura 45 - Dados de resultado de análise do espaçamento corrigido (os valores em parênteses são de espaçamento)

9.8. Decisões

Para se confirmar o resultado alcançado e se decidir sobre a proposta de alteração das peças, uma última avaliação é feita sobre o Cpk necessário em cada peça.

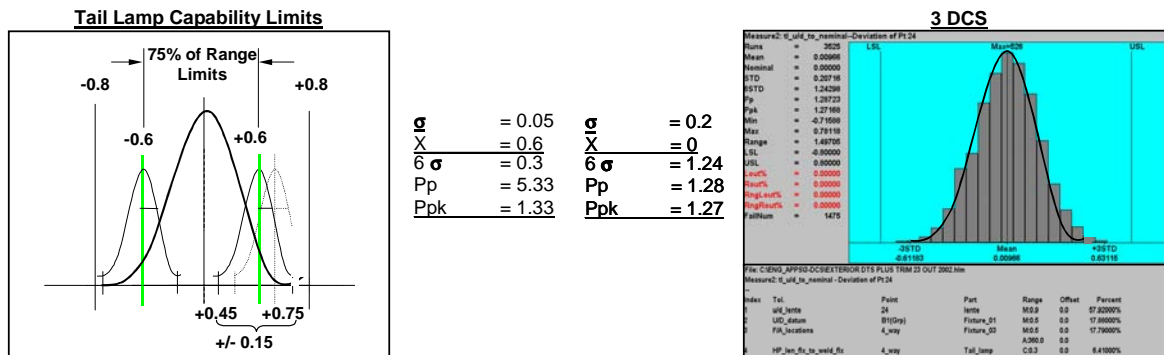


Figura 46 - Resultado de análise sobre valor de tolerância para Cpk de processo da lanterna

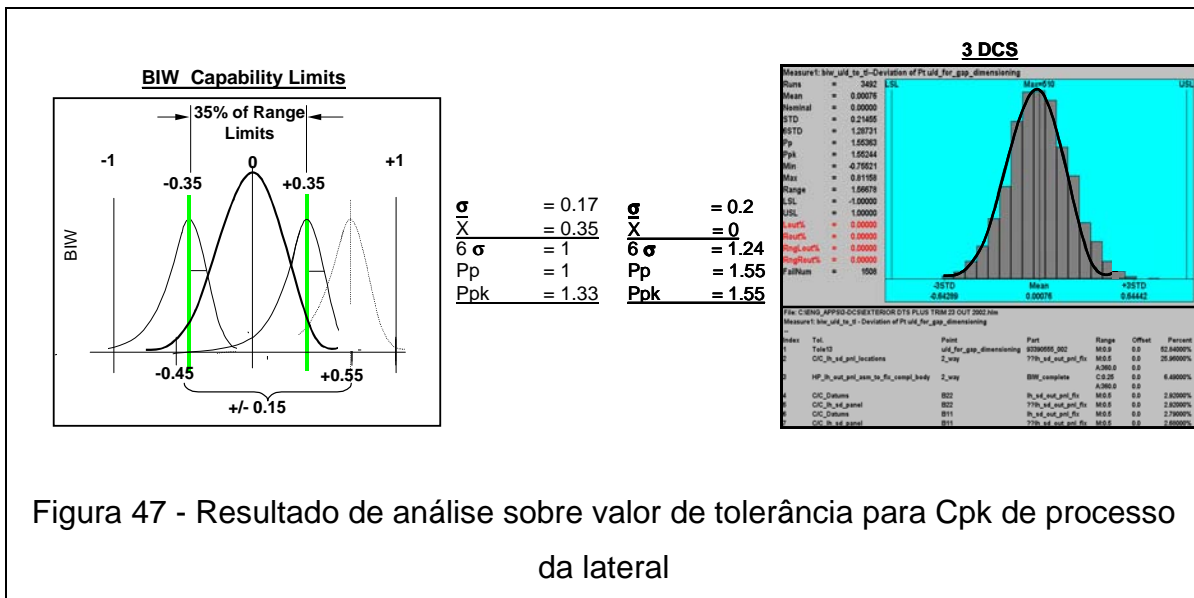


Figura 47 - Resultado de análise sobre valor de tolerância para Cpk de processo da lateral

Por essas avaliações, a média da lanterna deve se situar entre +/- 0.8mm e a da lateral +/- 35mm, para que estatisticamente os índices sejam alcançados.

9.9. Manutenção

O resultado para revalidação pode ser um incremento na qualidade de processo, o que significa melhores características críticas de controle no processo, cujo monitoramento consolidará a solução adotada.

Com base em processos de melhoria, a atividade de construção funcional, direcionada pela definição e validação do produto no processo (*BODY SYSTEMS - Functional Build*, 1999), tem-se:

- Foco em validação integrada com desafio sobre desenvolvimento de produtos, desvio da média, desafios dos sistemas de medição, correlação entre estampados e dimensões de conjuntos, avaliações sobre desvios e cálculos de CPk;
- Metodologia de pesquisa e relatório final, por meio de exemplos de casos;
- Problemas de implementação, por meio de categorização de peças estampadas, critérios de submissão e aprovação, conformidade o cronograma de desenvolvimento e validação dimensional, métricas de validação dimensional,

definição da área cinza da conformidade de média, planejamento do tamanho da amostra, problemas de montagem de subsistemas e causas raízes de implementação do sistema e

- Eventos baseados na construção funcional para aprovação de ferramental e de produção.

10. CONCLUSÕES

A definição de um diagrama operacional para estruturar e correlacionar atividades e padrões dimensionais no desenvolvimento e otimização de produtos e processos aplicados a um projeto veicular está consolidada por dois estudos de caso que foram geradores da idéia apresentada e que podem ser aplicados sistematicamente como processo de desenvolvimento de projetos veiculares.

O detalhamento e correlação de cada fase possibilitam uma avaliação por meio do diagrama elaborado, mostrando o segundo objetivo que é garantir a integração das necessidades de cada etapa do processo.

A abordagem inicial sobre a metodologia do seis sigma, também baseada no livro de George Eckes, com o título A Revolução Seis Sigma, de 2001, a apresenta dividida em dois componentes: a gestão do processo do negócio e a metodologia do processo de melhoria. Elas são classificadas, então, em componente estratégico e veículo de desenvolvimento de propostas para processos existentes ou novos.

Melhorar a qualidade e reduzir custos é a ordem mundial. Embora contrapostos, o resultado necessário é elevado pelo desafio da busca da alta tecnologia, produção em massa, melhoria contínua aplicada a detalhes operacionais em termos de tempo, número de operações, capacidade do processo qualificada e o foco nas análises a partir das reclamações dos clientes.

Os elementos de estrutura de análise do seis sigma são: definição, medição, análise, melhoria e controle, podendo ser comparados com as fases do diagrama dimensional proposto: dados, conceitos, propostas, especificações, decisões e manutenção.

Esta é a relação com a metodologia do processo de melhoria do seis sigma, onde no diagrama operacional: Dados são as informações iniciais sobre as características de desempenho do produto e capacidade do processo esperada para se alcançar o desejo do cliente; Conceitos são as definições técnicas dos

dados estabelecidos para produto e processos; Propostas são as possibilidades tecnicamente viáveis para produto e processo; Especificações significam a mensuração dos elementos variáveis das propostas de produtos e processo; Decisões aplicam-se para cenários de projetos, que são os resultados estatísticos das simulações, percentuais de variação e das avaliações das propostas elaboradas; Manutenção liga-se ao desenvolvimento e a otimização, sendo a certificação dos trabalhos realizados, concluídos por um processo de validação que documenta padrões de determinação de elementos críticos.

Nos seis sigma, Definição relaciona a composição dos objetivos de estudo e desenvolvimento; Medição define a catalogação dos dados a serem analisados; Análise é a avaliação de todas as informações, combinadas estatisticamente; Melhoria é o plano de ação definido a partir das causas raízes e Controle para traçar o monitoramento das atividades ou medidas realizadas sobre o processo.

Com a organização dos seis elementos do diagrama operacional e os cinco elementos dos seis sigma, percebe-se que há uma relação direta entre a metodologia de desenvolvimento e otimização de produto e processo (desenvolvida para o diagrama operacional) e a metodologia do processo de melhoria (aplicada pelos seis sigma), que podem ser chamadas de bases de correlação e que, portanto, a aplicação sobre estudos diversos pode ser estruturada pela metodologia proposta.

A primeira conclusão sobre a aplicação das correlações do diagrama dimensional é que elas definem dois níveis de avaliação: o primeiro para seqüência e o segundo, para o agrupamento de atividades.

As atividades principais a serem citadas são: Especificação, Capacidade requerida e potenciais de melhoria; Estrutura do produto, do processo, Desvio X Variação; cenários de produto, processo e definição matemática; tolerâncias dimensionais e geométricas, meios de controle do processo e ajustes do produto e do processo; resultados de simulações, confirmação do processo e re-confirmação do processo e, por fim, validação do produto, do processo e re-validação do processo.

A segunda conclusão está associada às possibilidades e similaridades de aplicações. Enquanto o estudo de caso foi elaborado sobre desenvolvimento de peças mecânicas, a mesma estrutura se aplica a projeto e produção de produtos industrializados diversos.

10.1. Correlação entre Desempenho do Produto e Capacidade do processo

As áreas principais que se integram nas fases de desenvolvimento do produto são: Estilo, Engenharia de Produtos, Engenharia de Qualidade de Fornecedores, Fornecedores, Compras, Engenharia de Manufatura, Auditoria da Qualidade e Planta.

O requisito básico é a integração entre atividades de desenvolvimento para que haja a sinergia necessária de informações de área para área, com resultados de melhores conceitos, custo e qualidade percebida pelo cliente.

Os elementos principais são o entendimento sobre o conteúdo idealizado, responsabilidades sobre atividades e foco comum aos objetivos traçados para os projetos, auxiliados pelos parâmetros definidos pelas normas e procedimentos, como tolerância dimensional e geométrica, ferramentas de qualidade para classificação de características chaves potenciais, validação virtual por cálculo estatístico, validação do processo em lote real de produção e de um plano de inspeção para monitoramento.

Ao se definir desenvolvimento como desempenho do produto e capacidade de processos, a correlação direta está determinada, pois o princípio básico é garantir a produção da funcionalidade do produto, sem falhas, tornando as atividades complementares umas às outras.

Tabela 10.1.1 – Correlação entre Desempenho do Produto e Capacidade do processo
folha 1 de 2

Fase	Desempenho do Produto	Capacidade do Processo	Correlação
Dados	Especificação	Capacidade Requerida	<p>Padrão de intenção de estilo determina indiretamente qual a característica de produção necessária, pelos aspectos de construção de componentes pela geometria desejada e pela estrutura do produto.</p> <p>Essa primeira fase caracteriza-se por dados, pois são as informações iniciais para o desenvolvimento do projeto.</p>
Conceitos	Estrutura do Produto	Estrutura do Processo	<p>Padrões de geometria dimensional e estratégias de localização determinam as características de repetição e reprodutibilidade do processo para assegurar a desempenho e capacidade.</p> <p>A segunda fase classificada como conceitos, demonstra realmente critérios, lições aprendidas e tecnologia.</p>
Propostas	Cenários	Cenários	<p>Aplicação de ferramentas de qualidades específicas para definição do melhor conceito de desenvolvimento, permitindo o projeto mais robusto, que indica menor exigência sobre o processo e vice-versa. Por outro lado, avaliações de cenários de processos podem definir um produto mais confiável e robusto pela confiabilidade que este processo pode e deve conferir.</p> <p>Como fase de propostas, os cenários determinam todas as possibilidades de construção do produto.</p>

Tabela 10.1.1 – Correlação entre Desempenho do Produto e Capacidade do processo
folha 2 de 2

Fase	Desempenho do Produto	Capacidade do Processo	Correlação
Especificações	Tolerâncias	Meios de controle	<p>Padrões de tolerância definem o montante de variação de empilhamento do produto, e que devem ser garantidos por padrões de controle dimensional, seja em dispositivos ou máquinas tridimensionais, aliados ainda a formas de relatar resultados por produção executada, para o perfeito controle sobre tendências e falhas.</p> <p>Ações sobre planejamento de tolerâncias e padrões de controle são a fase que consolida potenciais de variação.</p>
Decisões	Resultados de Simulações	Confirmação do processo	<p>Padrões de validação de projetos, com resultados sobre variação e participação dos elementos, comparados aos padrões de validação do de processos, relacionam capacidade calculada com capacidade efetivamente alcançada e podem gerar ações mútuas de reengenharia.</p> <p>Validar significa tomar decisões sobre resultados.</p>
Manutenção	Validação do Projeto	Validação do Processo	<p>Padrões sobre elementos críticos vinculados a monitoramento garantem que os riscos de perda de função sejam minimizados, pois determinam todos os parâmetros de controle dimensional sobre o produto e o processo.</p> <p>A manutenção desses parâmetros se faz constante, aplicadas de unidade para unidade.</p>

Observando-se a tabela de comparação entre correlações das atividades de desenvolvimento e o primeiro estudo de caso, temos:

Tabela 10.1.2 – Comparação entre correlação de desenvolvimento e o estudo de caso de desenvolvimento
folha 1 de 2

Fase	Correlação (conteúdo da tabela 10.1.1)	Estudo de caso
Dados	<p>Padrão de intenção de estilo determina indiretamente qual a característica de produção necessária, pelos aspectos de construção de componentes pela geometria desejada e pela estrutura do produto.</p> <p>Essa primeira fase caracteriza-se por dados, pois são as informações iniciais para o desenvolvimento do projeto.</p>	<p>Ao direcionar para um valor de espaçamento menor, a intenção de estilo requisitou avaliações sobre capacidade de produção e geometria de produto.</p>
Conceitos	<p>Padrões de geometria dimensional e estratégias de localização determinam as características de repetição e reprodutibilidade do processo para assegurar a desempenho e capacidade.</p> <p>A segunda fase classificada como conceitos, demonstra realmente critérios, lições aprendidas e tecnologia.</p>	<p>A análise sobre o processo e produtos existentes determinou quais seriam os maiores modificadores para o novo projeto: construção geométrica de peças, seqüências de montagem, e tolerâncias (para produtos e para processos).</p>
Propostas	<p>Aplicação de ferramentas de qualidades específicas para definição do melhor conceito de desenvolvimento, permitindo o projeto mais robusto, que indica menor exigência sobre o processo e vice-versa. Por outro lado, avaliações de cenários de processos podem definir um produto mais confiável e robusto pela confiabilidade que este processo pode e deve conferir.</p> <p>Como fase de propostas, os cenários determinam todas as possibilidades de construção do produto.</p>	<p>Os cenários foram fundamentais por determinarem dos participantes os fatores de controle e os níveis de possibilidades construtivas com as combinações determinaram o melhor resultado.</p>

Tabela 10.1.2 – Comparação entre correlação de desenvolvimento e o estudo de caso de desenvolvimento

folha 2 de 2

Fase	Correlação (conteúdo da tabela 10.1.1)	Estudo de caso
Especificações	<p>Padrões de tolerância definem o montante de variação de empilhamento do produto, e que devem ser garantidos por padrões de controle dimensional, seja em dispositivos ou máquinas tridimensionais, aliados ainda a formas de relatar resultados por produção executada, para o perfeito controle sobre tendências e falhas.</p> <p>Ações sobre planejamento de tolerâncias e padrões de controle são a fase que consolida potenciais de variação.</p>	<p>A avaliação sobre os produtos anteriores e as tolerâncias necessárias para o novo produto demonstram que novos objetivos podem ser padronizados e são determinantes sobre as avaliações dos potenciais e necessidades de modificações.</p>
Decisões	<p>Padrões de validação de projetos, com resultados sobre variação e participação dos elementos, comparados aos padrões de validação do de processos, relacionam capacidade calculada com capacidade efetivamente alcançada e podem gerar ações mútuas de reengenharia.</p> <p>Validar significa tomar decisões sobre resultados.</p>	<p>O aspecto técnico é preponderante sobre as variáveis de decisão, pois determinam os limites entre o que se pode atingir. Com as combinações possíveis, os custos e padrões de processos podem ser discutidos.</p>
Manutenção	<p>Padrões sobre elementos críticos vinculados a monitoramento garantem que os riscos de perda de função sejam minimizados, pois determinam todos os parâmetros de controle dimensional sobre o produto e o processo.</p> <p>A manutenção desses parâmetros se faz constante, aplicadas de unidade para unidade.</p>	<p>Uma vez consolidada e aprovada a solução de desenvolvimento, começa o trabalho de monitoramento de elementos críticos.</p>

10.2. Correlação entre Desenvolvimento e Otimização

O objetivo é criar novos paradigmas relacionados a desenvolvimento de estruturas de carrocerias e sistema de produção otimizado, a partir de pesquisas simultâneas de desenvolvimento de projeto, ferramentas e conjuntos (*BODY SYSTEMS - Functional Build, 1999*).

Estando desenvolvida a base sobre validação dimensional pela seqüência de medição e montagem de peças, conjuntos pequenos, conjuntos maiores até a estrutura final, a relação da tecnologia de estampados e a seqüência do processo de montagem determinam a necessidade de garantia do empilhamento de tolerâncias.

A impossibilidade de se produzir componentes tão precisos, associada à correlação de dimensões entre componentes sobre não-rigidez, geram a característica principal sobre variação dos processos: desvio da média com relação à nominal.

Detalhando-se os fatores causadores do desvio da média tem-se: fluxo de material no processo de conformação e repetição do processo depois de completado o desenvolvimento da ferramenta.

Tabela 10.2.1 – Correlação entre desenvolvimento e otimização folha 1 de 2

Fase	Desenvolvimento do produto	Otimização do Produto e do Processo	Correlação
Dados	Especificação + Capacidade Requerida	Potenciais de melhorias para o produto e processo	Todo produto e processo permitem melhorias por pelo dois aspectos: refino e aprimoramento de tecnologia. Aos produtos e processos já existentes objetiva-se o refinamento, com ações que indiquem ganho sobre produtividade, custos e ganho de qualidade sobre os produtos.
Conceitos	Estrutura do Produto + Estrutura do Processo	Desvios X Variação	Aplicação de padrões servem para orientar o desenvolvimento e validação de produtos. O trabalho de refinamento supõe avaliação direta sobre desvios e variação, associado a menor custo de melhoria.
Propostas	Cenários	Definição matemática	Cenários são a forma subjetiva de se avaliar propostas. Quando associados às medições e simulações, tornam-se objetivas, enriquecendo o poder de tomadas de decisão.
Especificações	Tolerâncias + Meios de controle	Ajustes do produto e do processo	Por um lado, tolerâncias associadas à desempenho de produto e meios de controle e às capacidades de processo significam um campo de variação esperada para a produção de produtos. Correlacionados aos ajustes de produto e processo, consolidam o processo de otimização.

Tabela 10.2.1 – Correlação entre desenvolvimento e otimização folha 2 de 2

Fase	Desenvolvimento do produto	Otimização do Produto e do Processo	Correlação
Decisões	Resultados de Simulações + Confirmação do processo	Re-confirmação do processo	Re-confirmação significa repetição de padrões de validação de projetos, com resultados sobre variação e participação dos elementos, comparados aos padrões de validação do de processos. A capacidade de produzir ou funcionar, recalculada a partir de uma necessidade de melhoria, refina a possibilidade de aumento de qualidade do produto.
Manutenção	Validação do Projeto + Validação do Processo	Revalidação do processo	Revalidar significa repetir as rotinas de avaliação de um processo como se fosse novo, criando a oportunidade de aprimorar os parâmetros de controle dimensional sobre o produto e o processo.

10.3 Análises Futuras

As análises futuras podem se basear em três linhas de raciocínio:

- Na relação de capacidade de processos manuais e automáticos, comparados a custos de investimento, manutenção e retorno;
- No emprego de tecnologias de produto, processo e materiais alternativos;
- Na aplicação efetiva das bases do diagrama ou do seis sigma como ferramenta de trabalho para desenvolvimento de projetos a partir de capacidade de processos e lições aprendidas com a realidade sobre fabricação, vinda da otimização de produtos e processos;
- Nas discussões sobre tolerâncias “pior caso” e tolerância estatística.

11. BIBLIOGRAFIA

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

AUTO/STEEL PARTNERSHIP AND BODY SYSTEMS ANALYSIS PROJECT TEAM. **Automotive Body Measurement Systems Capability**, 1999, disponível pelo site www.a-sp.org, acesso em julho 2006.

AUTO/STEEL PARTNERSHIP AND BODY SYSTEMS ANALYSIS PROJECT TEAM. **Automotive Sheet Steel Stamping Process Variation**, 1999, disponível pelo site www.a-sp.org, acesso em julho 2006.

AUTO/STEEL PARTNERSHIP AND BODY SYSTEMS ANALYSIS PROJECT TEAM. **Event-Based Functional Build: An Integrated Approach to Body Development Build**, 1999, disponível pelo site www.a-sp.org, acesso em julho 2006.

BODY SYSTEMS ANALYSIS PROJECT TEAM. **Body Systems Analysis: A Benchmark Study of Automotive Door Dimensional Quality – Executive Summary**, January 2002, disponível pelo site www.a-sp.org, acesso em julho 2006.

BODY SYSTEMS ANALYSIS PROJECT TEAM. **Event-Based Functional build: An Integrated approach to Body Development**, 2002, disponível pelo site www.a-sp.org, acesso em julho 2006.

C. M. CREVELING., **Tolerance Design**, ed. Addison-Wesley Longman, Inc., 1997.

CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)**, Primeira Edição Americana publicada em fevereiro de 1993, segunda edição Americana em fevereiro de 1995.

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

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

FANUCCHI, RICARDO MAAME. **Aplicação do Seis Sigma e da metodologia DMAMC a um processo de identificação e solução de problemas durante a corrida piloto de um projeto automotivo**. São Paulo: 2002. apud ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

GENERAL MOTORS CORPORATION. **Simulation Theory**, 1998. Disponível na intranet em <http://vdp.gm.com/gvdp> Acesso em Julho 2005.

GENERAL MOTORS CORPORATION. **GM-GMS (Global Manufacturing System) Operating Tool 15.13 Body-in-White and Assemblies Dimensional Body**, Shop Process Control, Copyright Notice © August, 2000 .All rights reserved.

GM CORPORATION UNIVERSITY. **STATISTICAL PROCESS CONTROL, OVERVIEW – Processo de Controle Estatístico – Visão geral**, Material de

Treinamento, Course 18184, Revision History, First Edition: 10/99, Second Edition: 03/28/00, Third Edition: 09/15/00, Fourth Edition: 02/27/02.

HIRAYAMA, R.E. **Otimização do Planejamento de processos de montagem final na indústria automotiva** / R.E. Hirayama. – ed ver. – São Paulo, 2005, apud BRAZ M. A. **Ferramentas e Gráficos Básicos. In: Seis Sigma – Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços.** São Paulo, Brasil. Editora Atlas S.A. 2002.

CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. **Manual de PPAP – Processo de Aprovação de Peças de Produção.** Terceira edição americana, publicada em setembro de 1999.

RAMBERSAD, H. **75 Painful questions about your customer satisfaction,** 1999.

REIS, D.; PENA, L.; A. LOPES, PAULO. **Customer satisfaction: the historical perspective.** 2000.

SOUZA, G. F. M. de. **Confiabilidade de Produtos e Sistemas,** São Paulo: Junho de 2002

STEVEN S., BOWEN H. K. **Decodificando o DNA do Sistema Toyota de Produção,** Harvard Business Review , setembro/outubro 1999, Reimpressão #99509

SENAI-SP. **CEP: Controle Estatístico do Processo.** São Paulo, edição 1987. Material de treinamento.

STANDARD TOLERANCE DATA, “**Solving Production Metal Problems and Dimensional, *Introduction to the Principles of Tolerancing* – Introdução aos Princípios de Tolerâncias**”, material de treinamento, de 1982.

TAYLOR, DR. WAYNE, “***Process Tolerancing: A Solution to the Dilemma of Worst-case Versus Statistical Tolerancing* – Processos de Tolerâncias: Uma Solução Para o Dilema de Empilhamento Limite Versus Tolerância Estatística**”, Copyright © 1997-2005 Taylor Enterprises, Inc., Last modified: January 24, 1999