

Da Engenharia à Metrologia: Benefícios Técnicos e Econômicos da Gestão Dimensional de Produtos

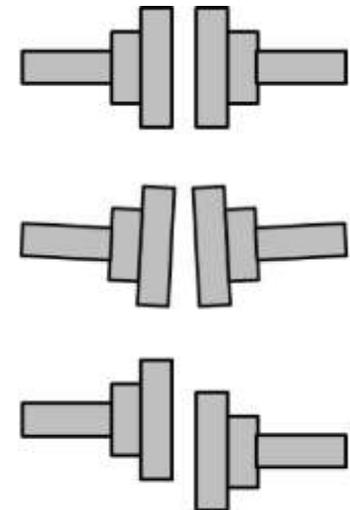
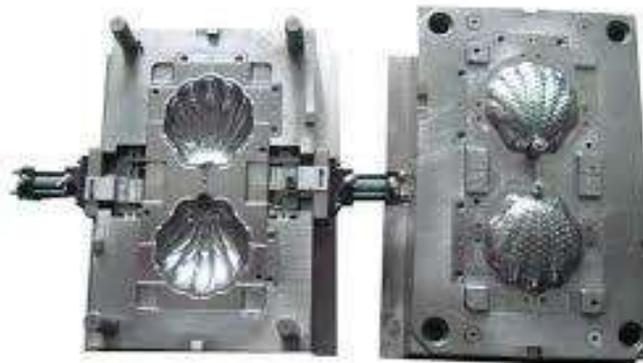
Prof. André Roberto de Sousa, Dr. Eng.
IFSC

São Paulo, Setembro de 2017

CONTEÚDO DA APRESENTAÇÃO

1. REQUISITOS DIMENSIONAIS DE PRODUTOS X DESAFIOS DIMENSIONAIS DE PROCESSOS
2. A GESTÃO DIMENSIONAL DE PRODUTOS
3. MELHOR ESPECIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DO PRODUTO
4. MELHORES PROCESSOS DE PRODUÇÃO
5. MELHORES PROCESSOS DE MEDIÇÃO
6. VANTAGENS TÉCNICAS E ECONÔMICAS DA GESTÃO DIMENSIONAL DE PRODUTOS

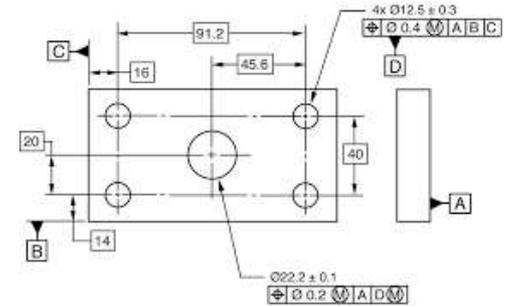
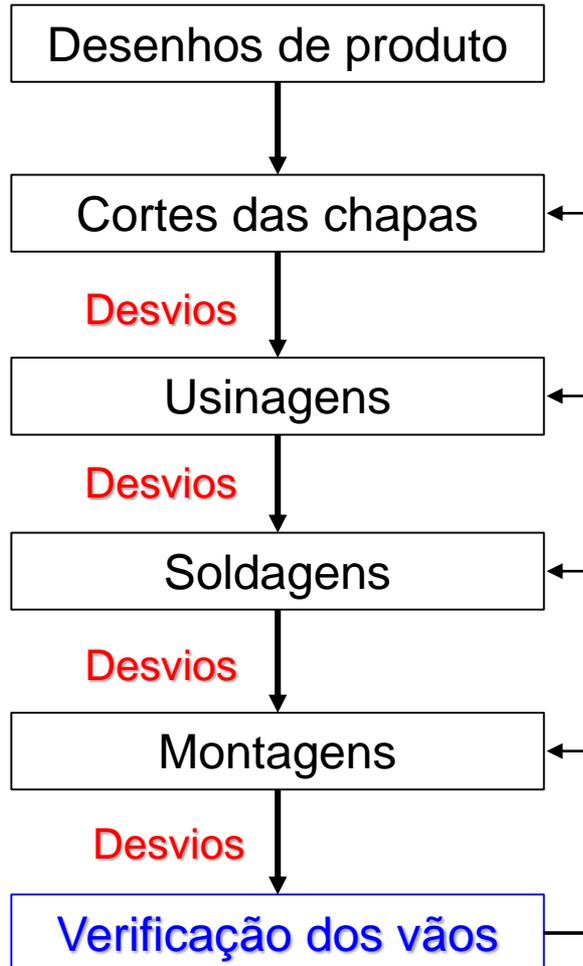
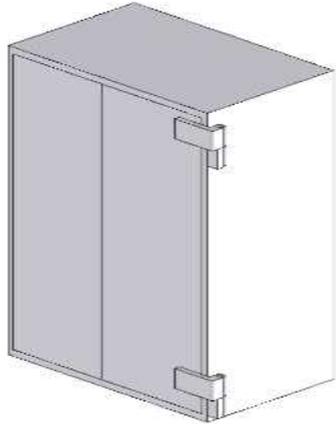
Precisão Dimensional Importa e Impacta



1. REQUISITOS DIMENSIONAIS DE PRODUTOS X DESAFIOS DIMENSIONAIS DE PROCESSOS

Exemplo (infelizmente) atual



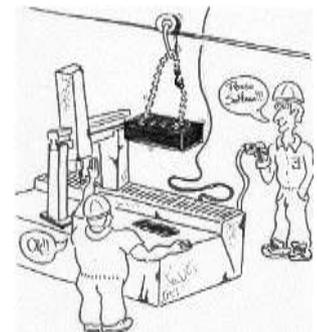
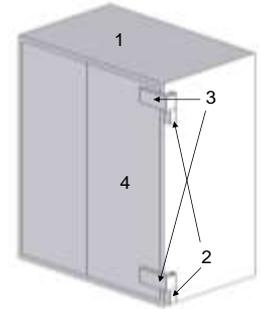


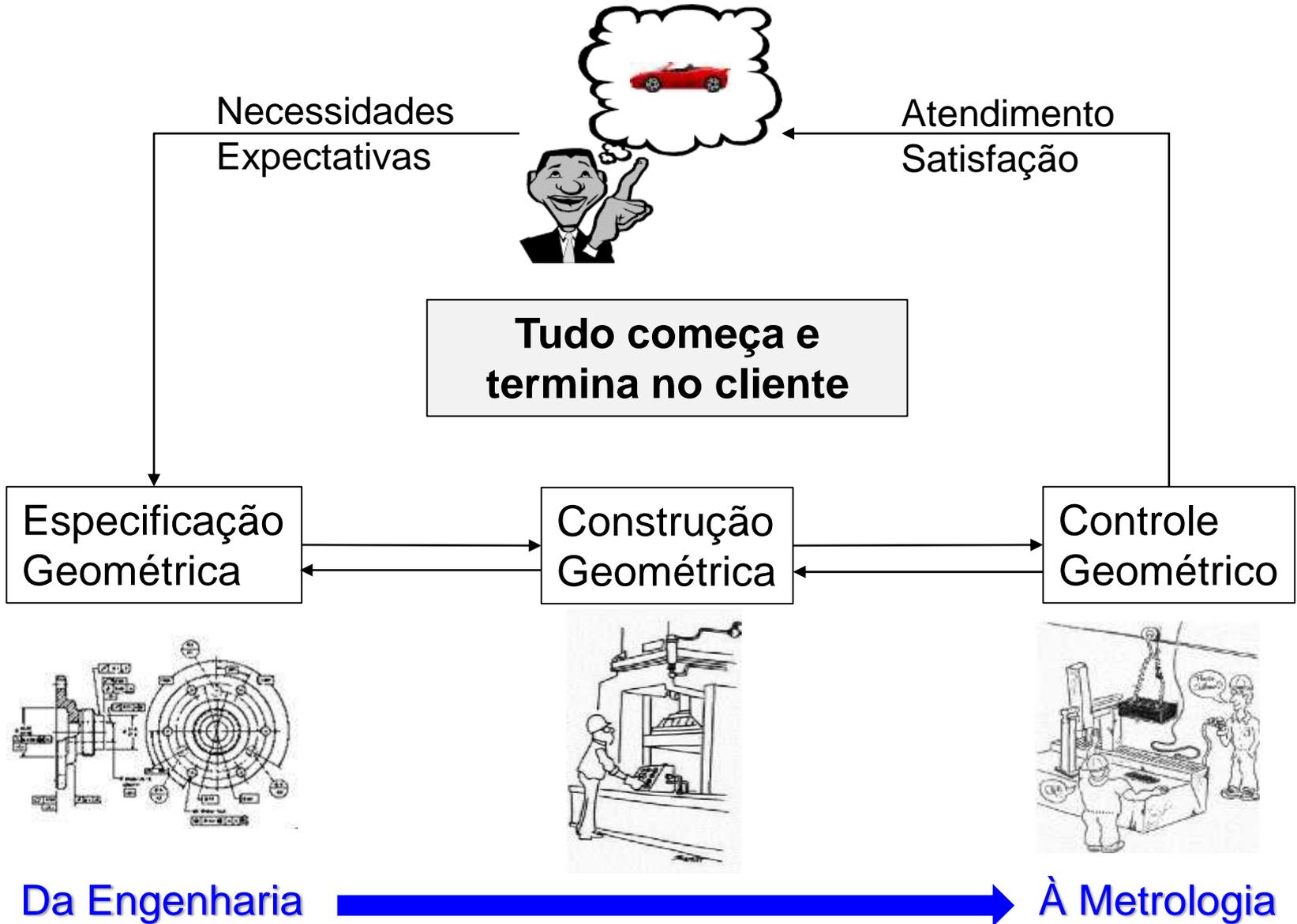
Material didático de apoio à palestra



Perguntas que precisam ser respondidas:

1. O projeto considera as variações que cada componente pode ter para que, no conjunto, o vão de 3 mm não seja ultrapassado?
2. As tolerâncias que controlam estas variações estão definidas de modo coerente com a precisão dos processos e máquinas disponíveis?
3. Os processos e máquinas da produção são capazes de atender as tolerâncias especificadas com boa produtividade?
4. Os processos de medição empregados para ajustar os processos de produção e para qualificar os produtos possuem exatidão necessária para estas tarefas?

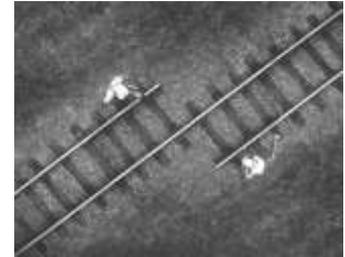




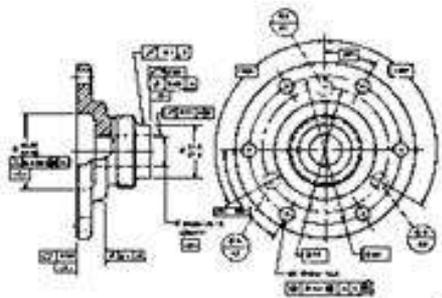
Material didático de apoio à palestra

Precisão Geométrica Importa e Impacta

- Montagem Intercambiável
- Funcionalidade e Confiabilidade
- Segurança Operacional
- Estética e Acabamento
- Custos com refugo e retrabalhos



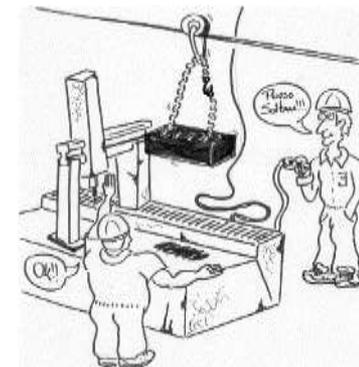
Especificação Geométrica



Construção Geométrica



Controle Geométrico



2. A GESTÃO DIMENSIONAL DE PRODUTOS

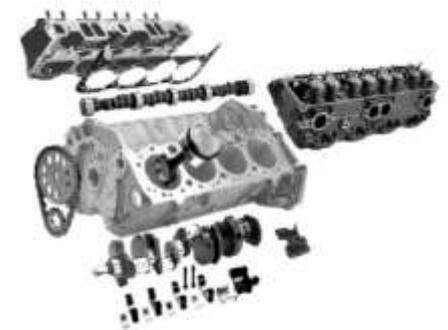
Product Dimensional Management

Conjunto de operações sistêmicas destinadas a prever, evitar e reduzir a ocorrência de variações dimensionais que causem problemas nos produtos.

Objetivo: assegurar o atendimento de requisitos estéticos e funcionais, permitindo a obtenção, sem retrabalhos, de alta qualidade no produto.

Envolve:

- Planejamento dos requisitos do produto
- Análise de tolerâncias
- Definição de planos de inspeção
- Avaliação de máquinas e dispositivos de produção
- Garantia de confiabilidade nas medições



Pilares da Gestão Dimensional de Produtos:

- GD&T e Simulação Computacional
- Controle Estatístico de Processos
- Metrologia Dimensional
- Ferramentas da Qualidade

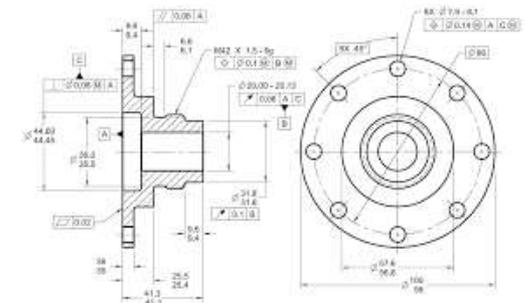


Projeto robusto a variações dimensionais

Processos de produção com variação controlada

Na Gestão Dimensional de Produtos é necessário o entendimento e controle da variação do processo de fabricação, buscando:

- Controlar a variabilidade do processo de manufatura para assegurar que o cliente receba produtos o mais próximo possível do projeto
- Assegurar que os efeitos da variação comum deste processo não causem problemas no produto pois já estão previstos e considerados pela engenharia do produto na sua especificação geométrica.



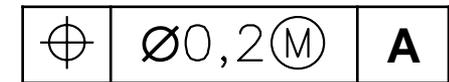
k13754318 fotosearch.com

Reduzindo a variação dos processos de fabricação, a empresa pode reduzir os custos diretos e os efeitos indiretos de refugos e retrabalhos.



Illustration by Chris Gash

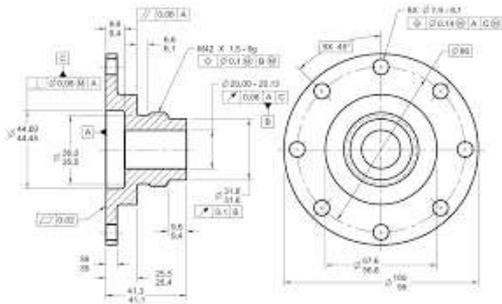
Fazendo o projeto de produto **ser mais tolerante** às variações de processo, a gestão dimensional de produtos também reduzirá custos pela redução do tempo para desenvolvimento e lançamento de novos produtos e pelo amadurecimento mais rápido de novos processos.



Produtos menos sensíveis às variações dos processos de fabricação são mais confiáveis em serviço, potencializando a aumento de satisfação dos seus consumidores.



Engenharia de Produto



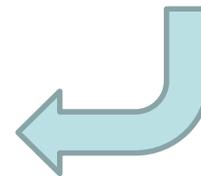
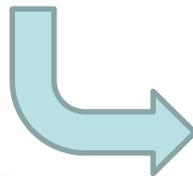
Engenharia de Manufatura e Qualidade



Illustration by Chris Gash



Prever e evitar os riscos



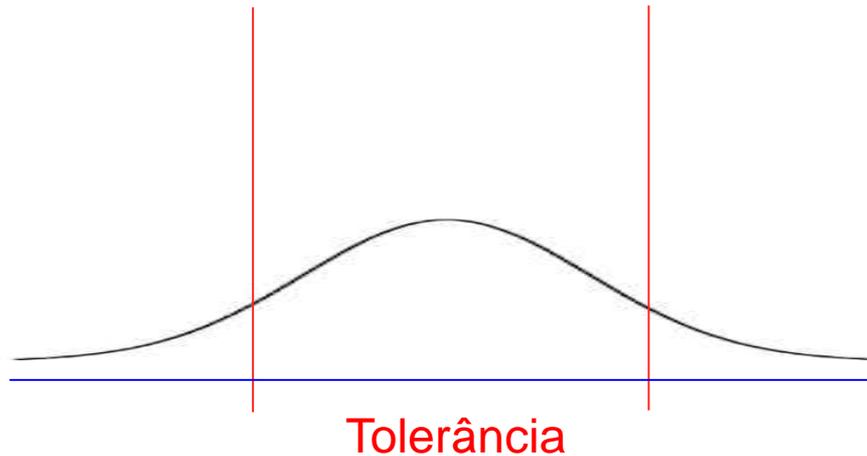
Gerenciar os riscos

GESTÃO DIMENSIONAL

Atuar no que seja evitável
Proteger do que seja inevitável



Illustration by Chris Gash



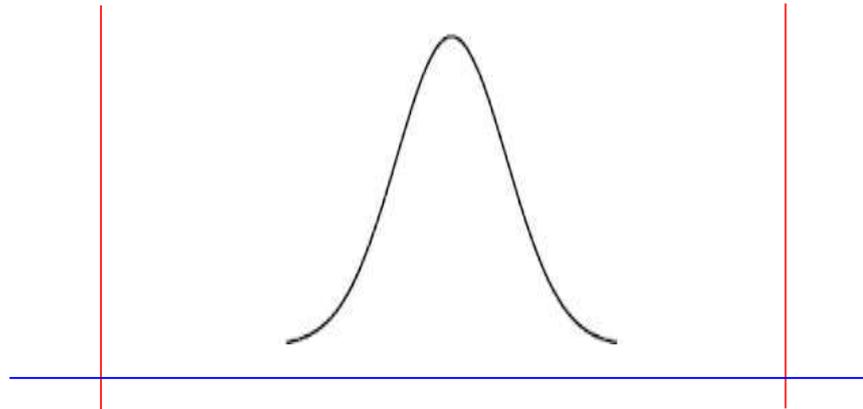
\varnothing	$\varnothing 0,02 \text{ (M)}$	A
---------------	--------------------------------	----------

GESTÃO DIMENSIONAL

Atuar no que seja evitável
Proteger do que seja inevitável



Illustration by Chris Gash



Tolerância

\oplus	$\varnothing 0,1 \text{ (M)}$	A
----------	-------------------------------	----------

MAL EXEMPLO CORPORATIVO

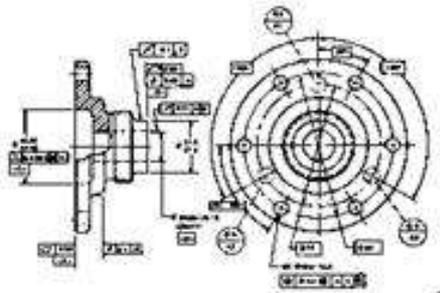
- Conhecimento incompleto das reais necessidades de precisão do produto
- Distanciamento entre áreas: isolamento da área de engenharia de produto
 - Desconhecimento do processo de manufatura e dos métodos de medição
- Deficiência técnica nas áreas envolvidas com A GESTÃO dimensional
 - Especificação geométrica: projetos
 - Construção geométrica: manufatura
 - Controle geométrico: qualidade

BOM EXEMPLO CORPORATIVO

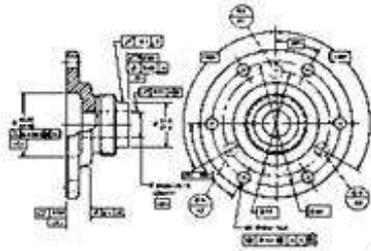
- Conhecimento pleno das reais necessidades de precisão do produto
- Integração entre as áreas que trabalham com foco na garantia de precisão geométrica do produto
- Capacidade técnica para conduzir de modo eficiente este gerenciamento dimensional do produto
 - Engenharia de Produto competente em GD&T
 - Manufatura competente e bem equipada
 - Metrologia competente e bem equipada

CENÁRIO 1

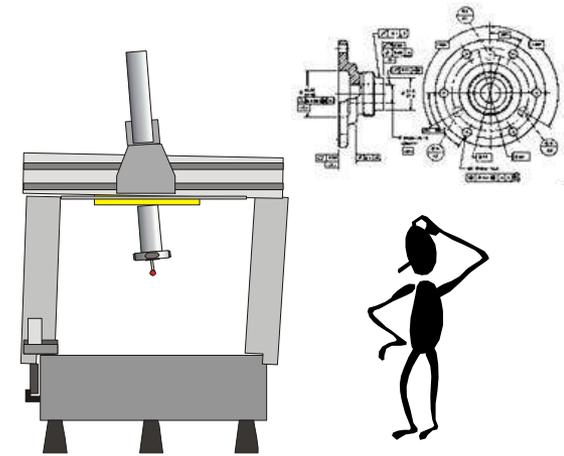
Engenharia de Produto



Manufatura



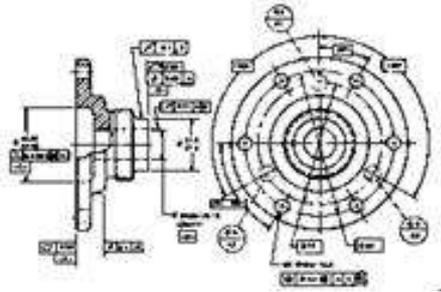
Qualidade



Ação Seletiva

CENÁRIO 2

Engenharia de Produto

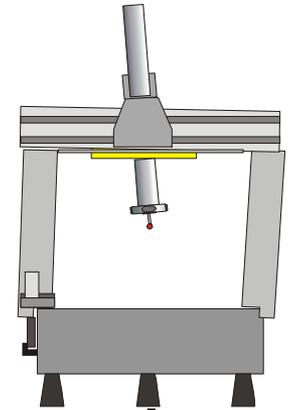


Manufatura



Illustration by Chris Gash

Qualidade



Ação Corretiva e Seletiva

CENÁRIO 3

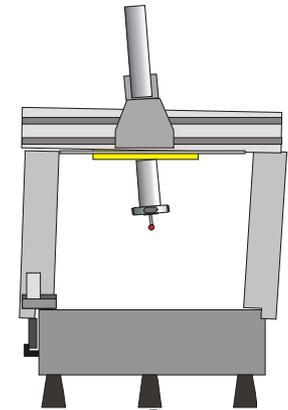
Engenharia de Produto



Manufatura



Qualidade



Ação Preventiva, Corretiva e Seletiva

Era uma vez, uma empresa que vivia dimensionalmente muito feliz.

Até que ...

Engenharia	Manufatura	Metrologia	Qualidade	Custo
				

Metrologia ruim contamina manufatura e engenharia, e compromete qualidade e custos, numa **reação em cadeia**



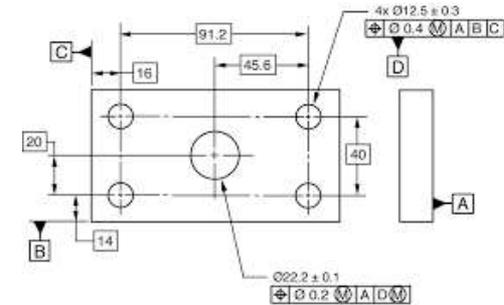
3. MELHOR ESPECIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DO PRODUTO

Requisitos do Produto



Tradução

Especificações geométricas



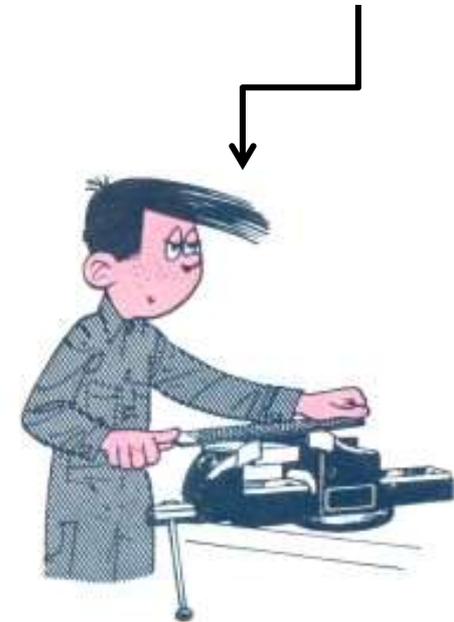
A Gestão Dimensional inicia com uma análise detalhada dos requisitos do produto, fugindo da prática tradicional de definir tolerâncias pouco antes da liberação dos desenhos, muitas vezes **tolerâncias “herdadas”** ou **tolerâncias “chutadas”**.

IPMT: “IMPOSTO SOBRE PRODUTOS MAL TOLERADOS”

Produtos geometricamente mal especificados:

- São mais difíceis de produzir
- São mais difíceis de medir
- Causam mais problemas de montagem
- Requerem mais retrabalhos
- Provocam mais refugos
- São mais propensos a falhas
- Possuem desempenho inferior
- Deixam mais clientes insatisfeitos
- Sacrificam a sustentabilidade da empresa

“Engenheiro
Lima”



80% dos custos finais de um produto são definidos nas fases iniciais de concepção

As tolerâncias protegem a função do sistema mecânico



Definir a tolerância adequada para cada peça é uma atividade crítica para o sucesso da empresa.

Se sua empresa trabalha com margem de segurança muito pequena ou muito grande, **a concorrência vai vencer sempre!!**

As empresas que **irão sobreviver no futuro** são aquelas que conseguem gerar produtos com alta qualidade e baixo custo. Isso pode ser obtido ao se definir as maiores tolerâncias possíveis que cada componente permite.

	Tolerância apertada	Tolerância aberta
Produto funcional	Cliente satisfeito mas produto de alto custo	Cliente satisfeito e produto de baixo custo
Produto não funcional	Lixo de alto custo	Lixo de baixo custo

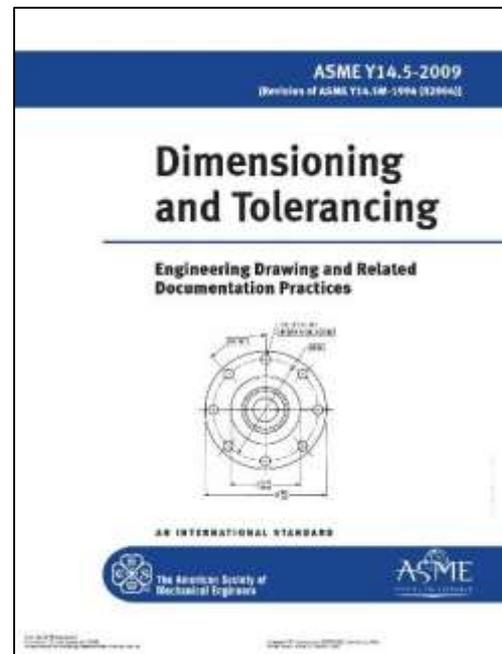
GD&T com Simulação Computacional de Tolerâncias

GD&T – Geometric Dimensioning and Tolerancing

Método de especificação geométrica e dimensionamento de tolerâncias a partir da análise da função do produto: cotação funcional



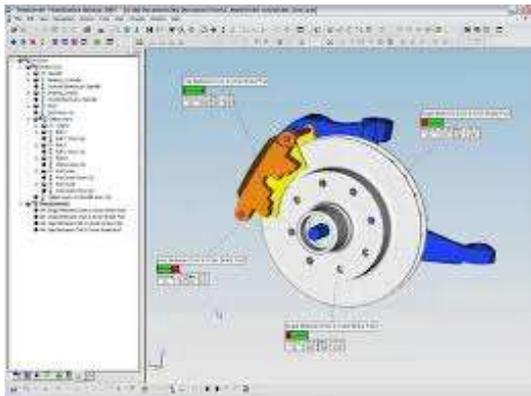
Norma ISO1101 - 2017



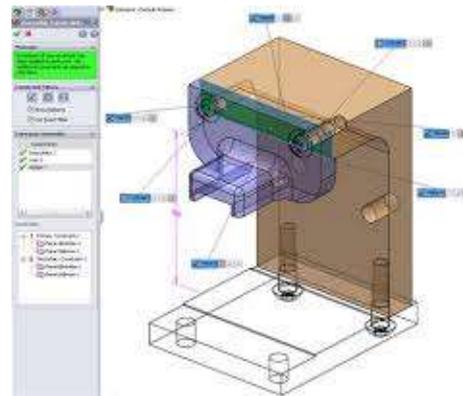
Norma ASME Y 14.5 - 2009

CAT – Computer Aided Tolerancing

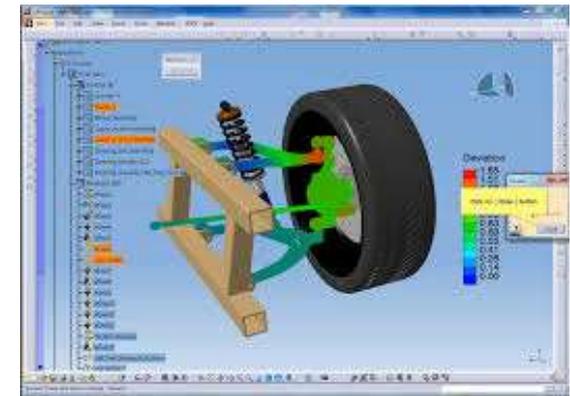
Ferramentas computacionais de simulação para auxílio à definição de tolerâncias.



VisVSA



Solidworks



3DCS

Análises por simulação tridimensional do efeito que a variação dos componentes provoca na montagem e funcionalidade do produto.

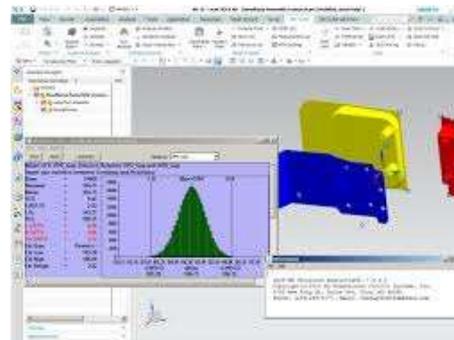
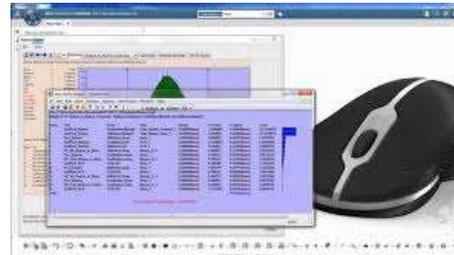
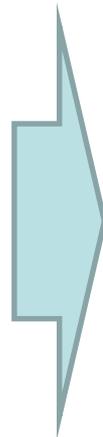
Um grande facilitador na definição adequada das tolerâncias dos componentes em função do requisito do produto, dos processos e do custo.

Com o emprego da **cotação funcional com o GD&T** e da **simulação computacional de tolerâncias** é possível definir de forma consistente as variações dimensionais dos componentes e simular computacionalmente essas variações, garantindo uma condição ótima que permita atingir o nível de qualidade pré-determinado ao menor custo.

Tolerâncias dos componentes

Requisitos de qualidade do produto

“Capabilidade” dos processos de manufatura

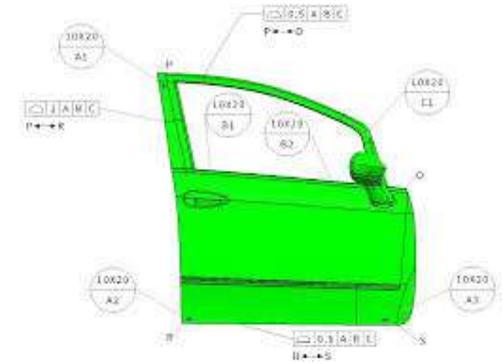
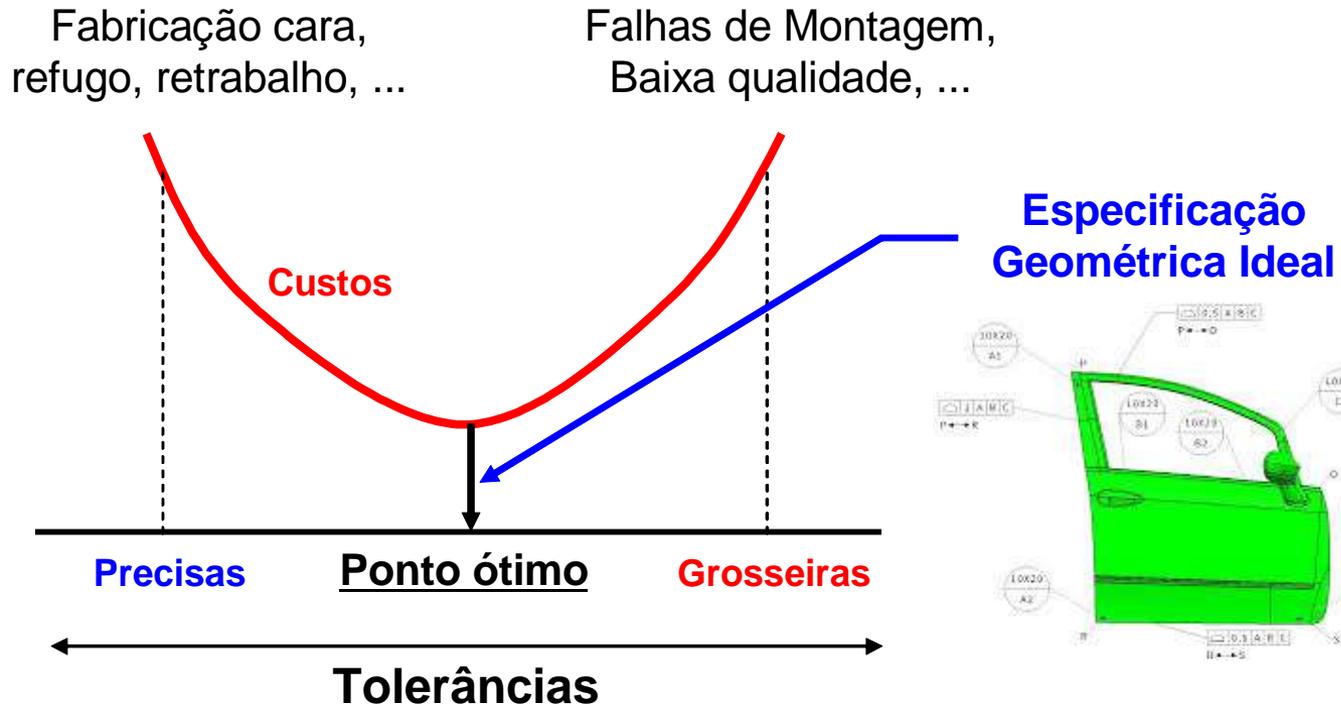


Número de falhas de montagem por milhão

Ranking das tolerâncias mais influentes

Análise de sensibilidade do produto às variações dos processos

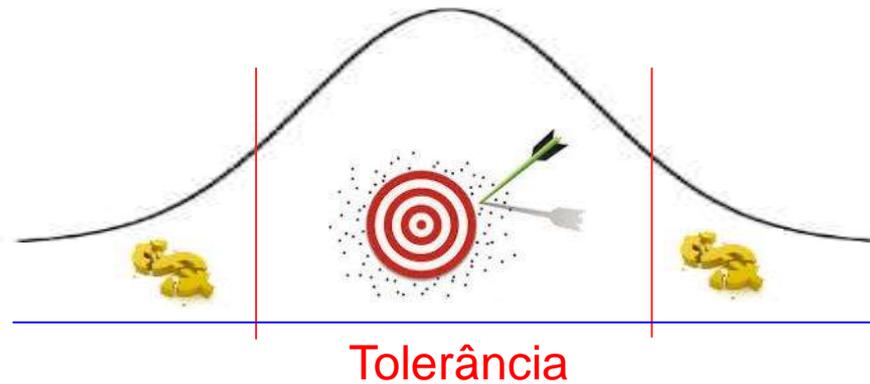
Com isso melhores desenhos são gerados.



Material didático de apoio à palestra

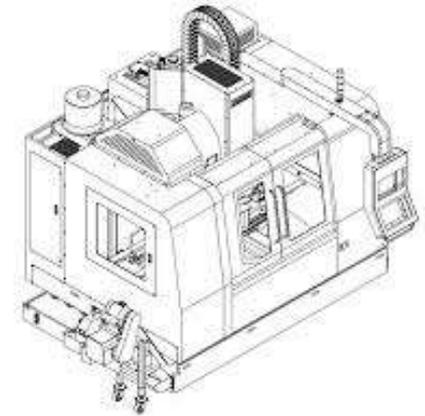
4. MELHORES PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Bons projetos e maus processos de produção...



OS PROCESSOS DE PRODUÇÃO PRECISAM:

- ter boa produtividade e baixo desperdício
- apresentar alta disponibilidade operacional
- ter boa flexibilidade operacional
- ser sustentáveis econômica e ambientalmente



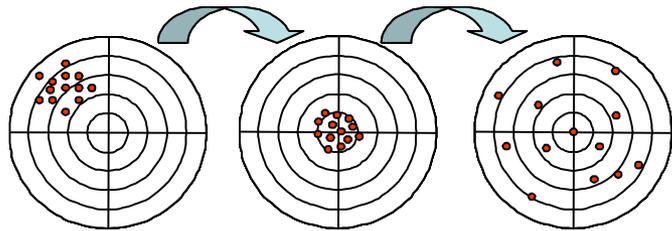
ISSO DEMANDA QUE OS PROCESSOS:

- estejam sob controle
- sejam capazes de produzir peças dentro das tolerâncias especificadas



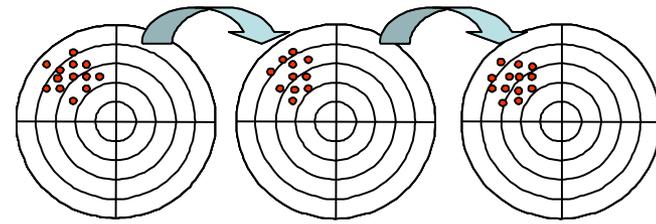
Illustration by Chris Gash

CONTROLE E CAPABILIDADE DE PROCESSOS



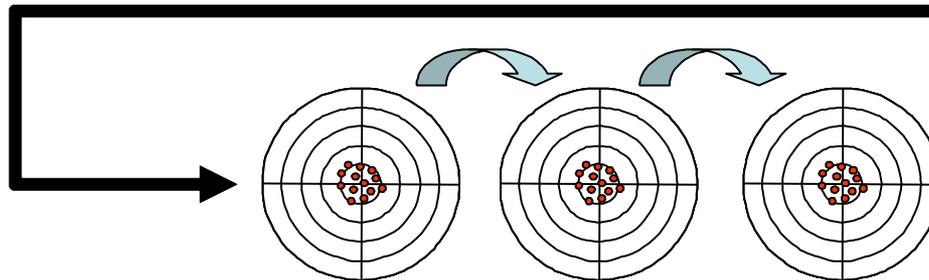
Segunda Terça Quarta

Processo fora de Controle



Segunda Terça Quarta

Processo sob Controle



Segunda Terça Quarta

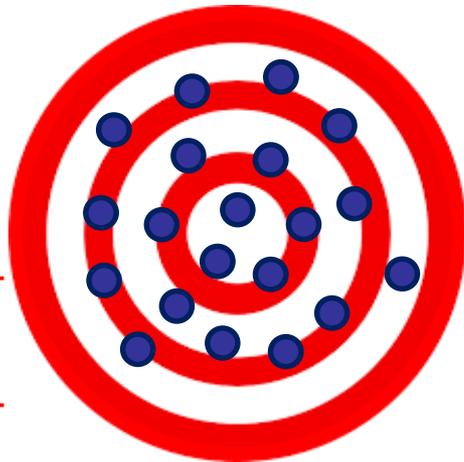
**Processo sob
Controle e Capaz**



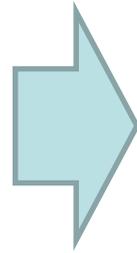
GESTÃO DIMENSIONAL DE PRODUTOS NA MANUFATURA

Reduzir a variabilidade de processos de produção

Reduzir os erros em relação às dimensões especificadas



Fora de controle



Sob controle



Sob controle
e capaz

CEP – CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

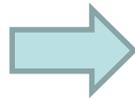
CEP – CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

- Um dos Pilares da Gestão Dimensional de Produtos
- Ferramenta de grande utilidade no contexto da Indústria 4.0

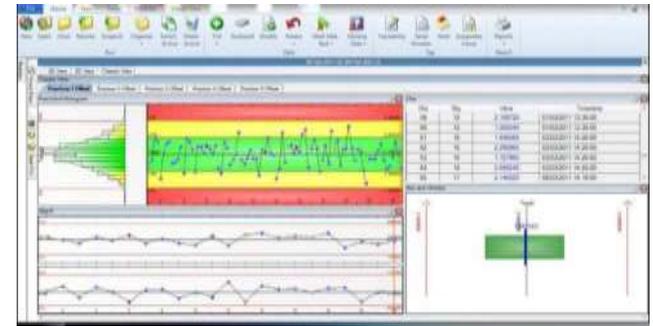
Mitutoyo



Processo



Medições



Análises, determinação de causas e ajustes

GESTÃO DIMENSIONAL DE PRODUTOS NA MANUFATURA

Mão de obra

Método

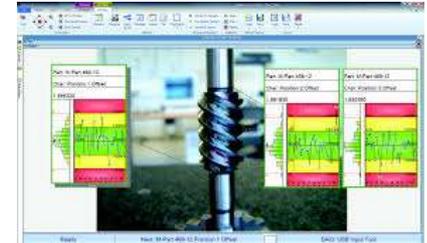
Máquina



Medição

Matéria-prima

Meio Ambiente

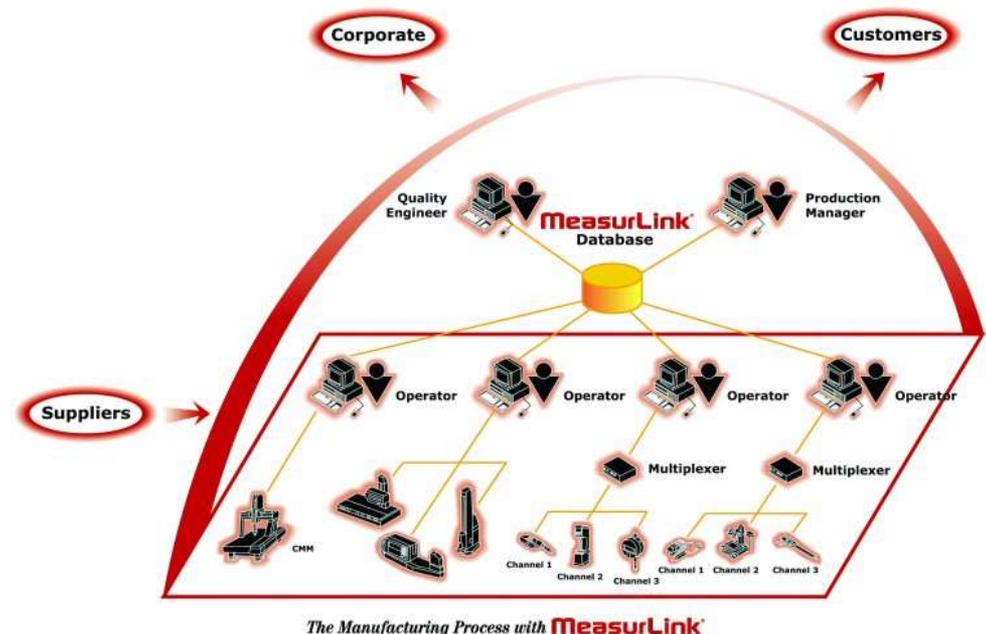
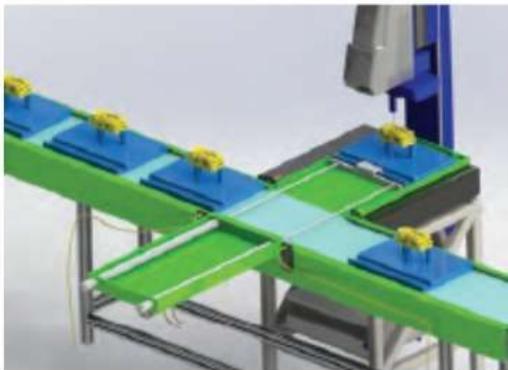


5. MELHORES PROCESSOS DE MEDIÇÃO

Bons Processos de Produção só são possíveis com bons Processos de Medição.

Processos de medição confiáveis, rápidos e integrados com a produção

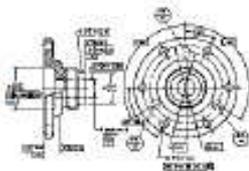
- Percepção dos desvios
- Quantificação dos desvios
- Comunicação dos desvios



Comentários comuns:

- *Metrologia não agrega função ao produto*
- *Metrologia só gera aumento de custos*
- *As medições causam muito retrabalho*
- *Metrologia é mais uma exigência de normas*
- *Metrologia atrasa os processos*
- *Não se vêem os benefícios da metrologia*
- *Benefícios da Metrologia não se pagam*
- *Metrologia gera muitos conflitos*

Projeto:
Especificação
geométrica



Processo:
Construção
geométrica



Metrologia:
Controle
Geométrico



ENFOCANDO A METROLOGIA COMO UM PRODUTOR DE INFORMAÇÕES ...

HÁ ALGO DE ESTRANHO NESSA HISTÓRIA ...

- (a) A informação produzida é errada.
- (b) A informação produzida trata da característica geométrica errada.
- (c) A informação produzida não é utilizada.
- (d) Todas as alternativas são corretas

5.1 Confiabilidade Metrológica

A exatidão atende requisitos de produto e de processo.

Voltando ao CEP...

Índices de capacidade de processo (C_p e C_{pk}) são calculados a partir de dados obtidos de medições.



Processo



Medições



C_p C_{pk}

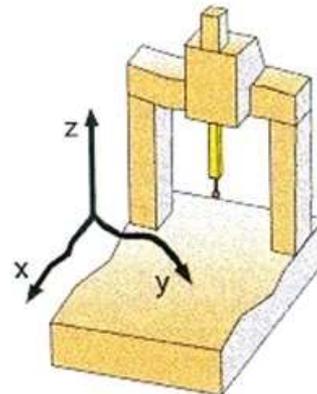
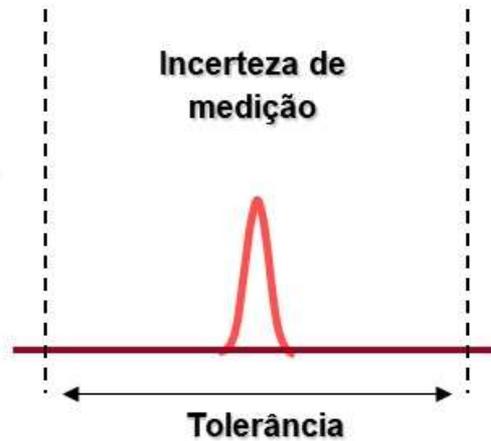
Medições erradas contaminam análises de CEP.

Como o processo de fabricação realmente é.



C_p e $C_{pk} > 1,33$

Como é a medição que o avalia.



Como o processo de fabricação aparenta ser.



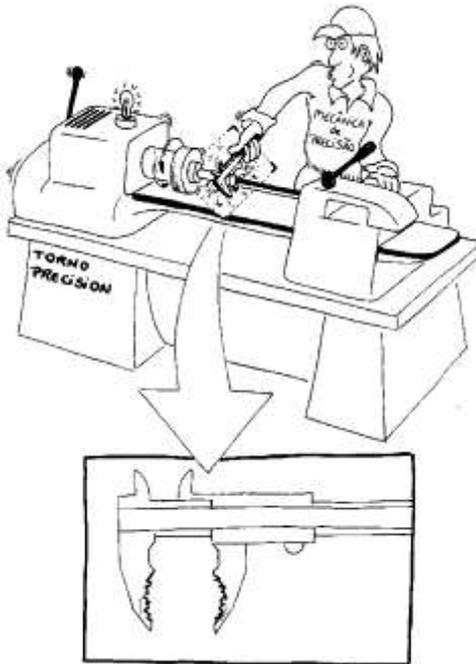
Não conformidades

Cp e Cpk “Aparentes”

Cp e Cpk calculados do modo normal, sob influência da medição

Cp e Cpk “Puros”

Cp e Cpk devidos somente à produção, sem influência da medição



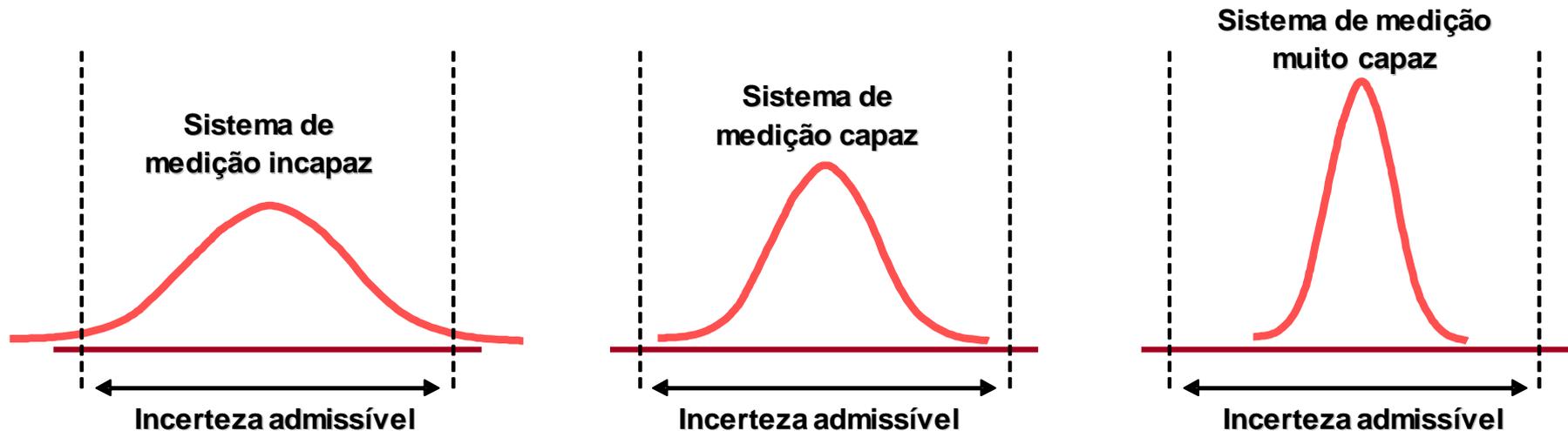
“Guia MSA 4ª Edição

A variação total (VT) observada em relatórios de qualidade de um processo é uma combinação da variação de processo (VP) com a variabilidade da medição (R&R).”

$$VT^2 = VP^2 + R\&R^2$$

$$\text{Incerteza Admissível} = \frac{\text{Tolerância do Produto}}{\text{Fator de Redução}^1}$$

¹Relação matemática entre a tolerância do produto e a incerteza da medição.



Confiar na informação gerada nas medições é uma necessidade básica

5.2 Medições focadas em características significativas

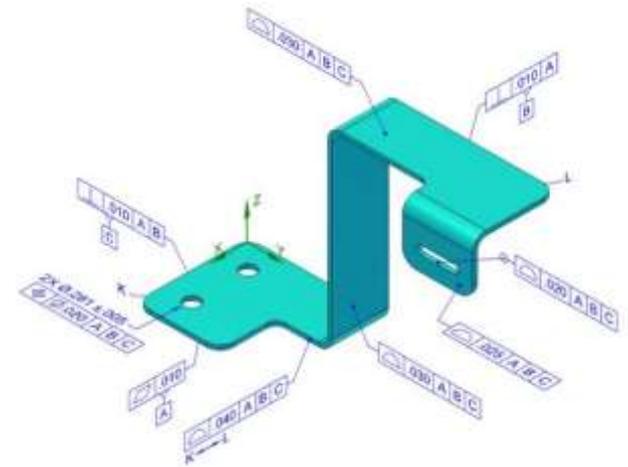
Não basta empregar processos de medição com boa exatidão.

As medições têm que ser focadas nas características realmente significativas nas peças.

Frequentemente...

Mede-se o que não é significativo

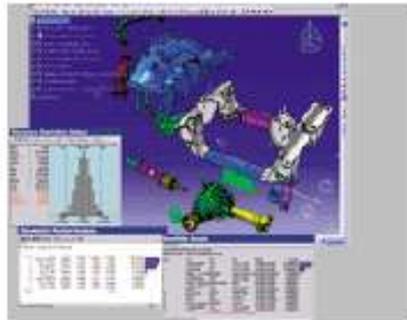
Deixa-se de controlar o que é significativo



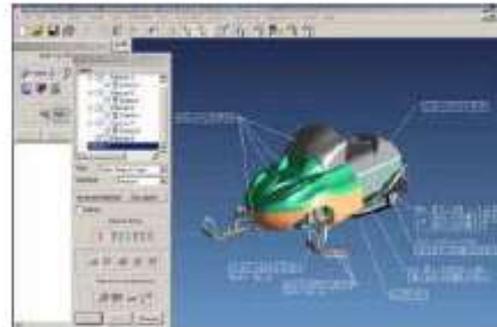
No conceito de gestão dimensional de produtos os planos de controle são focados nas características mais significativas da função do produto, pois resultam de um bom esforço de análises dimensionais auxiliadas por computador. Evita-se o comum “mede tudo”.

Com medições focadas em características realmente significativas, potencializa-se o real poder da metrologia em melhoria de produtos e processos.

• **Especificação Geométrica Consistente**



3DCS



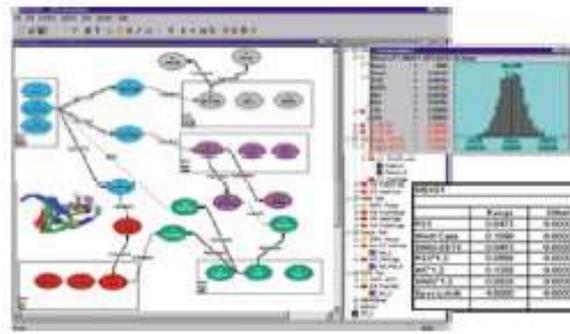
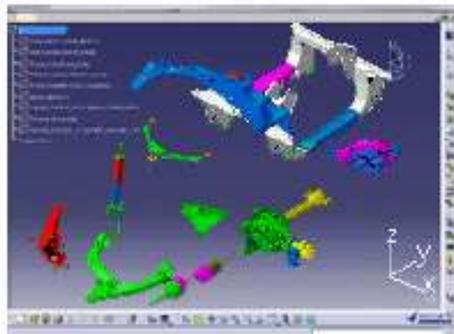
EDS

Simulação computacional:
amadurecimento digital da
especificação geométrica do
produto



DIMENSÕES. TOLERÂNCIAS E
REFERÊNCIAS ADEQUADAS

• **Identificação de características geométricas críticas e significativas**



PLANO DE CONTROLE
CONSISTENTE

5.3 Ciclo decisório rápido e eficaz

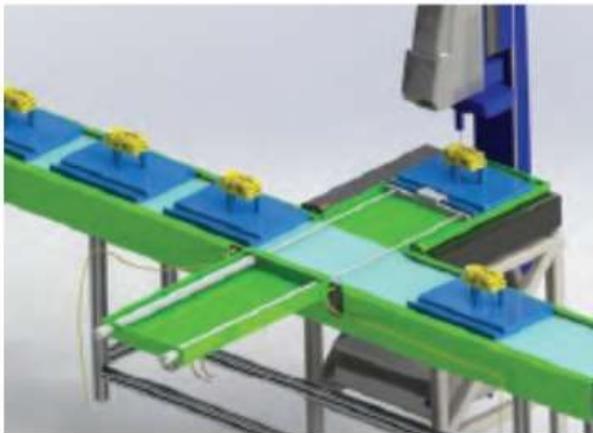
É necessário que as medições estejam próximas aos processos.

- Proximidade Física.
- Proximidade Informacional.

In Line. On Time.

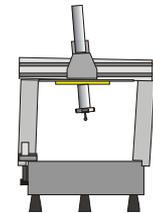
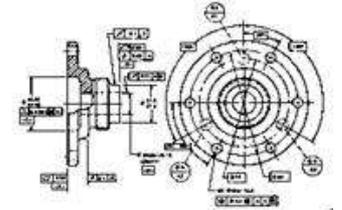
Atualidade da informação obtida

Rapidez na utilização desta informação



6. VANTAGENS TÉCNICAS E ECONÔMICAS DA GESTÃO DIMENSIONAL DE PRODUTOS

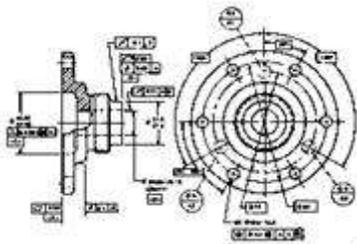
- Projeto dimensional otimizado e maduro através das simulações computacionais
- Planos de controle gerados com melhor conhecimento das características dimensionais significativas
- Processos de produção monitorados e melhorados continuamente quanto sua capacidade de atender os requisitos de exatidão existentes
- Medições integradas e com exatidão necessária para o bom controle de produtos e processos, gerando informações efetivas e de rápida utilização
- Amadurecimento mais rápido de produtos e processos
- Redução de tempos de desenvolvimento e lançamento de produtos



Time to marketing speed up!!

QUANTIFICAÇÃO DE GANHOS E PERDAS POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

ENGENHARIA



Dimensão e Tolerância

PRODUÇÃO



Capacidade de atender a tolerância

QUALIDADE



Capacidade de controlar as peças

Quanto ao atendimento da tolerância:

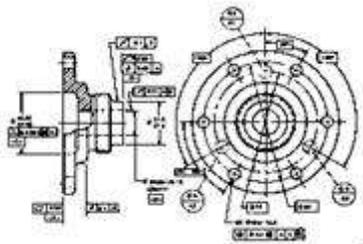
- PEÇAS **BOAS** - **B**
- PEÇAS **RUINS** - **R**

Possíveis classificação de peças:

- PEÇAS **BOAS APROVADAS** - **BA**
- PEÇAS **RUINS REPROVADAS** - **RR**
- PEÇAS **BOAS REPROVADAS** - **BR**
- PEÇAS **RUINS APROVADAS** - **RA**

QUANTIFICAÇÃO DE GANHOS E PERDAS POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

ENGENHARIA



Dimensão e Tolerância

PRODUÇÃO



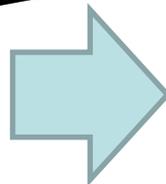
Índice Cp "puro"

QUALIDADE



Incerteza de Medição

Estimativa da quantidade de:



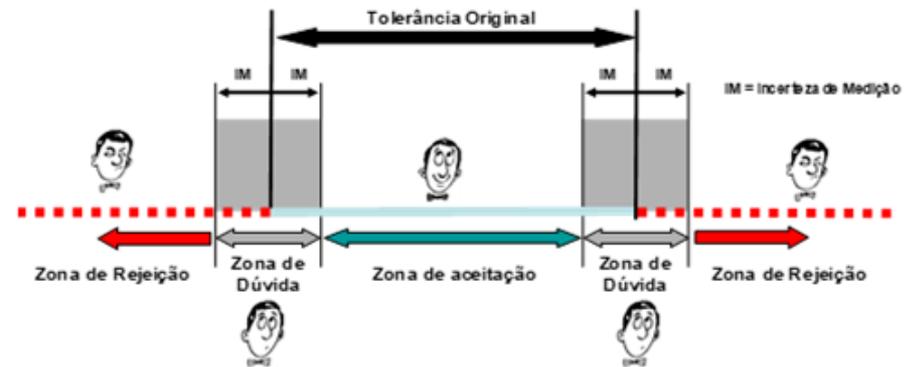
- PEÇAS BOAS APROVADAS - BA
- PEÇAS RUINS REPROVADAS - RR
- PEÇAS BOAS REPROVADAS - BR
- PEÇAS RUINS APROVADAS - RA

RA + RR = CULPA DA PRODUÇÃO

BR + RA = CULPA DA METROLOGIA

PROJETO		PRODUÇÃO		MEDIÇÃO	
Especificação Geométrica		Exatidão do Processo de produção		Exatidão da Medição	
Dimensão Máxima (mm):	100,02	Índice de Capabilidade Cp*:	1,67	Incerteza (mm):	0,018
Dimensão Mínima (mm):	99,98	*Capabilidade "pura", sem influência da medição			
Número de unidades produzidas	100000				
Custo de Cada item	R\$ 35,00				

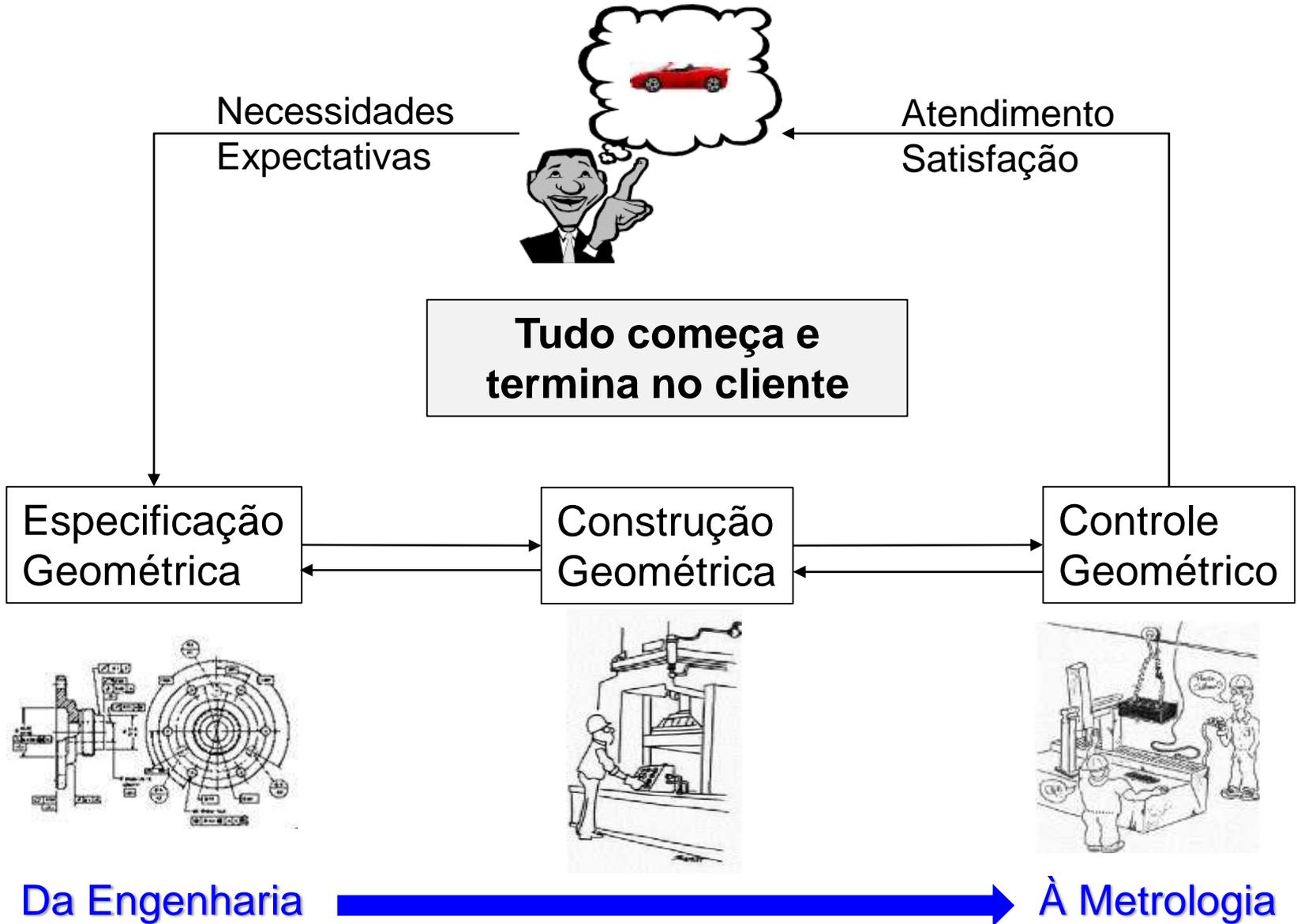
RESULTADO		
Peças Realmente Boas	100,0%	← CULPA DA PRODUÇÃO
Peças Realmente Ruins	0,0%	
Peças Boas_Aprovadas	96,0%	← CULPA DA METROLOGIA
Peças Ruins_Reprovadas	0,0%	
Peças Boas_Reprovadas	4,0%	
Peças Ruins_Aprovadas	0,0%	
PERDA PRODUÇÃO	R\$ -	
PERDA METROLOGIA	R\$ 140.700,00	



Planilha de avaliação de perdas:

<http://www.forma3d.com.br/downloads/simulador%20de%20perdas.xls>

Material didático de apoio à palestra



Material didático de apoio à palestra

Da Engenharia



À Metrologia



ALGUMA EMPRESA CONHECIDA APLICA ISSO? HÁ QUANTO TEMPO?



**Dimensional Management
in Vehicle Development**
A preventive quality assurance method

By Reinhard Müller, Michael Strubbe



COMO ESTÁ SUA EMPRESA NESSE CENÁRIO?

Agradecimentos



www.forma3d.com.br