
ENGENHARIA DIMENSIONAL DE PRODUTOS



Prof. André Roberto de Sousa, Dr.Eng.
CEFET-SC – GEMM – Metrologia
asouza@cefetsc.edu.br

João Pessoa, Outubro de 2003



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA
GERÊNCIA DE METAL MECÂNICA
LABORATÓRIO DE METROLOGIA**

André Roberto de Sousa

Engenheiro Mecânico (UFRN, 1991) com Mestrado (UFSC, 1994) e Doutorado (UFSC, 2000) em Metrologia, e treinamento especializado em empresas e centros de pesquisa na Alemanha, Inglaterra, Suíça e Estados Unidos.

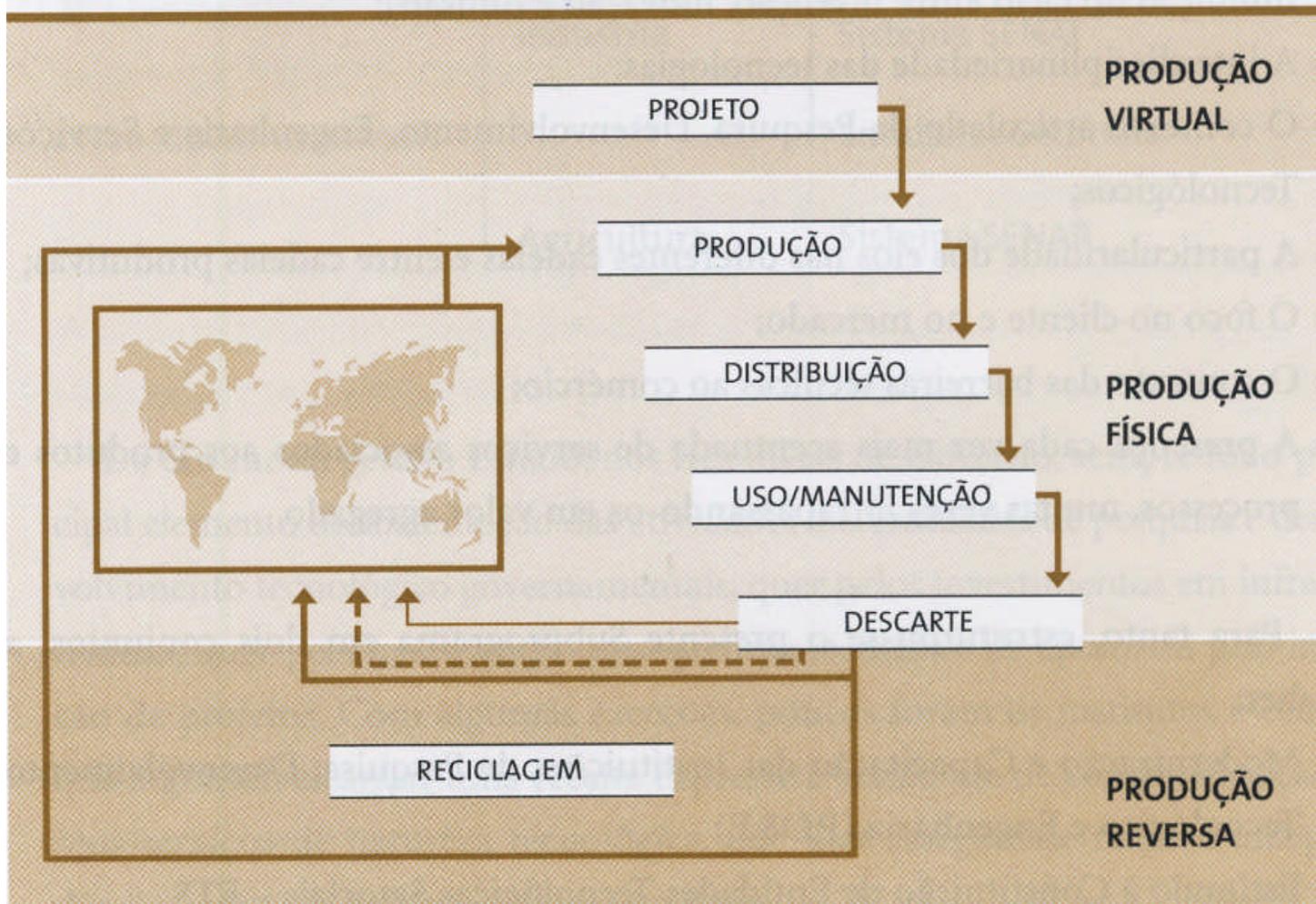
Professor da Gerência de Metal-Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, atuando na área de Medição por Coordenadas.

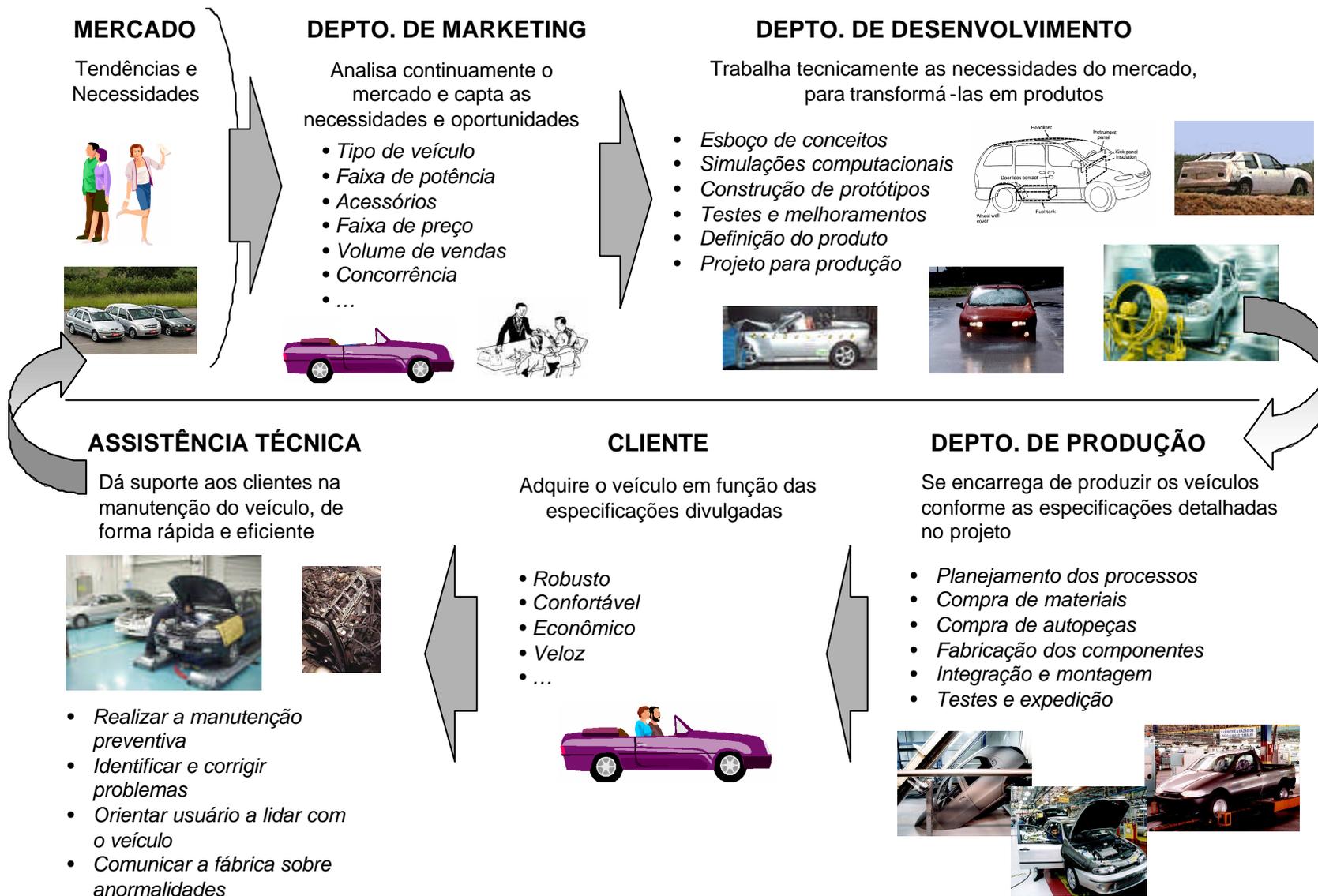
Professor associado do Curso de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial da Universidade Federal de Santa Catarina – POS-MCI / UFSC.

Consultor técnico de fabricante e usuários da Medição por Coordenadas.

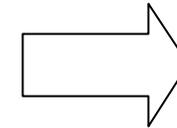
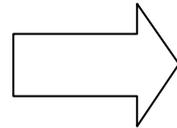
Esse material possui finalidade puramente didática e serve de apoio à apresentação da palestra *Engenharia Dimensional de Produtos*. Sua utilização para fins comerciais não é autorizada.

Ciclo de Vida de Produtos e Processos





Desenvolvimento de Produtos



Desejos

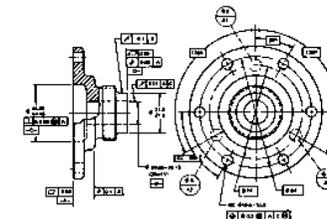
- Qualidade
- Beleza
- Custo
- ...



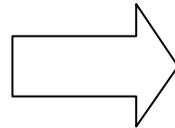
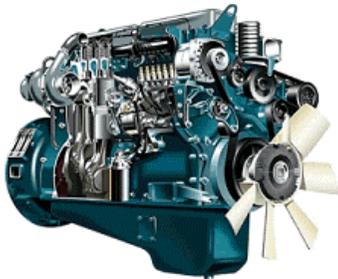
Engenharia

Especificações

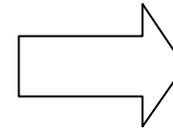
- Projeto Mecânico
- Materiais
- Processos
- ...



Dentre as especificações existe a especificação geométrica



- Geometria
- Dimensões
- Acabamento
- Tolerâncias



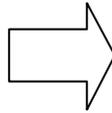
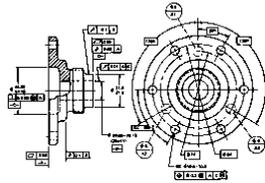
- Estética
- Funcionalidade
- Segurança
- Custo de produção

Essa temática tem assumido uma destaque tão grande nos últimos anos que já se fala em uma área da engenharia chamada de:

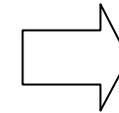
ENGENHARIA DIMENSIONAL DE PRODUTOS

Área da engenharia mecânica voltada à especificação geométrica dos componentes mecânicos que garantem a estética, funcionalidade e a segurança operacional de produtos, comprometidos com os custos mínimos de produção.

Projeto:
Especificação
Geométrica



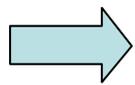
Processo:
Construção
Geométrica



Metrologia:
Controle
Geométrico



Em um mundo perfeito, o **ideal** e o **real** são exatamente iguais

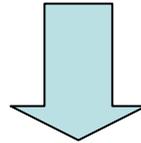


Como não vivemos em um mundo ideal, sempre existem diferenças entre o projetado e o construído

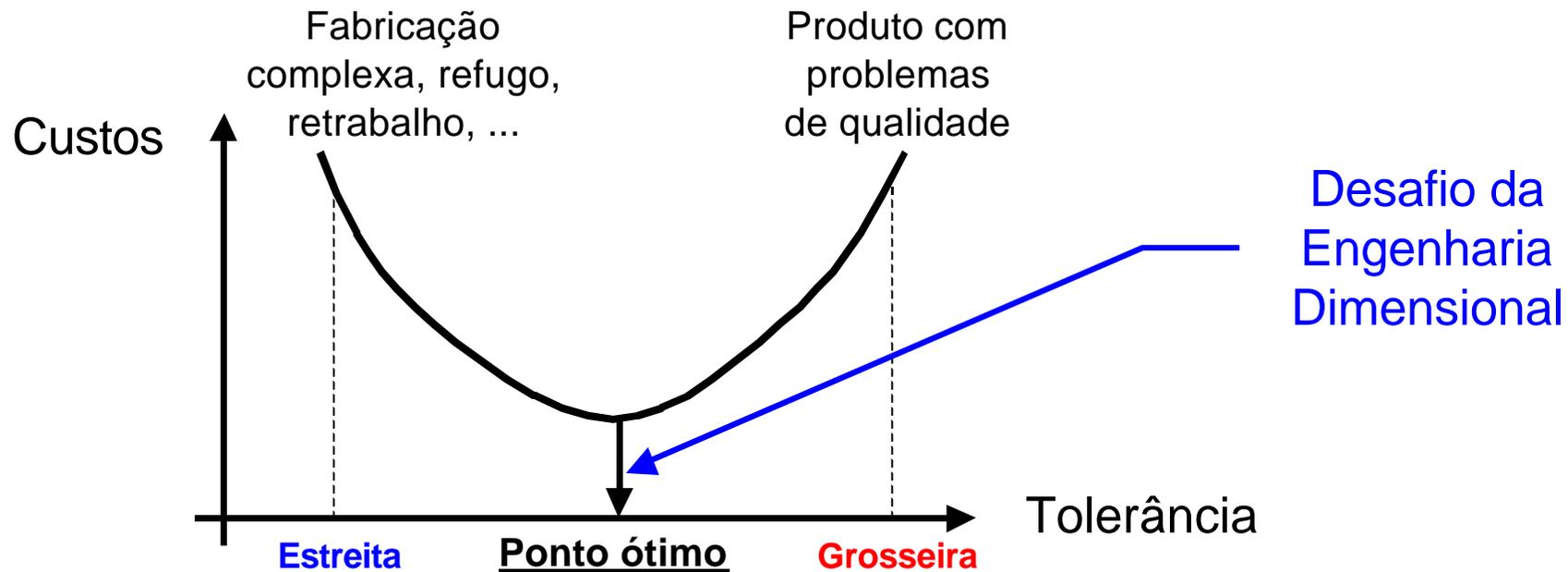


Precisamos lidar
com as variações
entre o ideal e o real

As tolerâncias especificadas no produto são o reconhecimento do fato de que a perfeição dimensional e geométrica não pode ser atingida. [7]

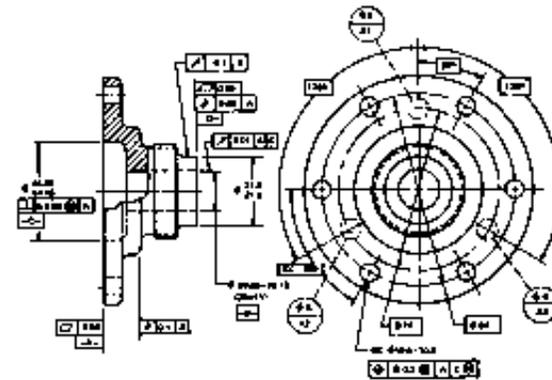


Sob o ponto de vista econômico, a perfeição não é realmente desejável



A Engenharia Dimensional em um ambiente de engenharia simultânea, tem o objetivo de gerar

- Dimensões
- Acabamento
- Desenhos: Linguagem de comunicação
- Tolerâncias
- Referências funcionais
- Planos de controle dimensional



Especificação Geométrica do Produto

Bons produtos começam com bons projetos



- **Desenhos: Linguagem de comunicação**

Na Engenharia Simultânea, várias áreas chave do sistema produtivo estão ativamente envolvidas no projeto do produto. Cada setor contribui especificamente na sua área de atuação de maneira integrada, discutindo as melhores situações de fabricação, montagem e controle, para resultar em um produto com maior qualidade e menos custo. [6]

- **Nesse contexto o Desenho é uma ferramenta de comunicação entre os diferentes setores envolvidos:**

- Deve ser um documento preciso e ser tratado de maneira formal
- Um desenho de engenharia pode ser considerado uma ferramenta de contrato entre cliente e fornecedor (*Global Sourcing*)
- Deve definir um componente de forma completa de modo a requerer uma comunicação verbal mínima
- Deve conter as tolerâncias de forma racional, para garantir a intercambiabilidade do componente a custos de produção mínimos [6]

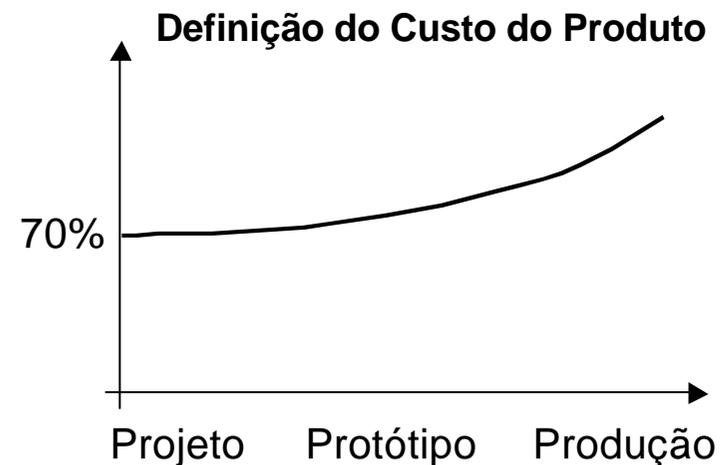
• Tolerâncias: A Linguagem GD&T

Quando se trata das estratégias de Engenharia Simultânea (DFM – Design for Manufacturing e DFA – Design for Assembly), as especificações das tolerâncias e os métodos usados para expressá-las nos desenhos dos componentes e das montagens são fatores chave.

A linguagem GD&T (*Geometric Dimensioning and Tolerancing*) proporciona os recursos necessários para que o projeto possa informar os principais parâmetros, em termos dimensionais, focando não somente o produto, mas também levando em consideração os processos de fabricação, o controle dimensional e a montagem.

O GD&T é uma ferramenta utilizada no desenvolvimento do produto, para facilitar a comunicação, e é nessa fase em que os ganhos de otimização do projeto são maiores. [6]

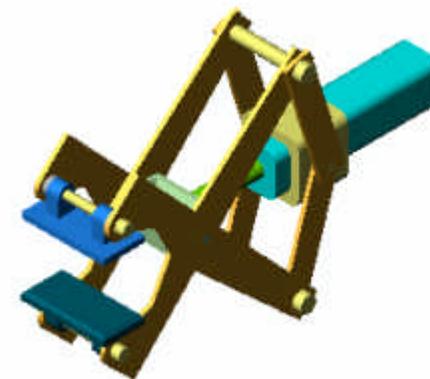
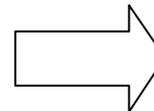
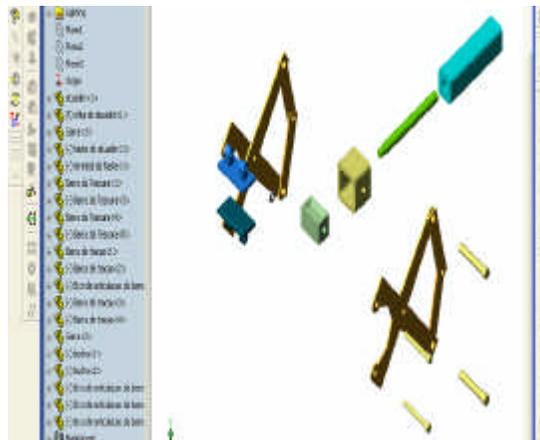
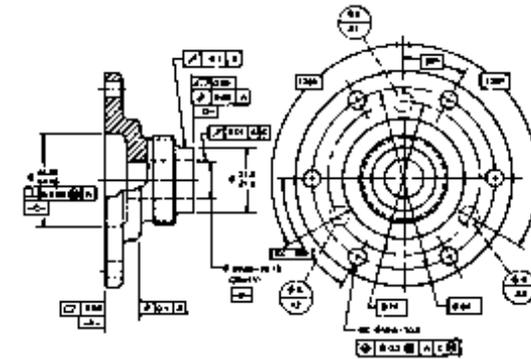
A definição de 70% dos custos de um produto é feita na fase de desenvolvimento integrado.



O GD&T objetiva o estabelecimento de uma linguagem única para a expressão da variação dimensional do produto.

Reduz os custos:

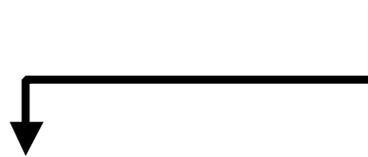
- Montagem sem retrabalhos
- Viabilização do *global sourcing*
- Aumento de intercambiabilidade
- Garantia da qualidade no projeto



Dimensionamento:

GD&T X Sistema cartesiano

O GD&T possui mais consistência que o sistema cartesiano de dimensionamento

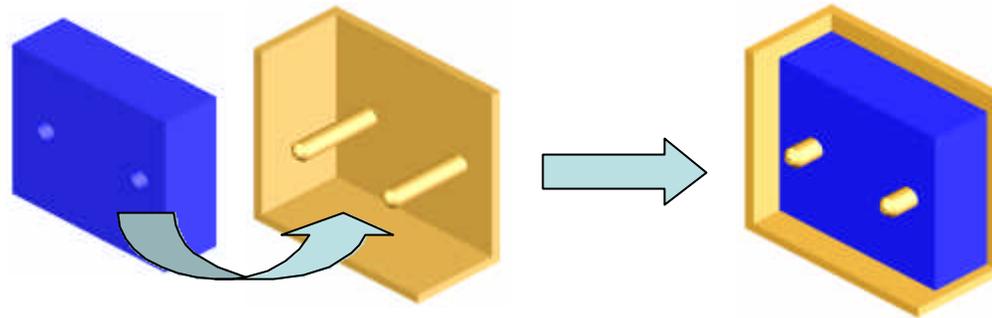


- Especificações inadequadas da zona de tolerância real
- Ausência da definição do sistema de referências na peça

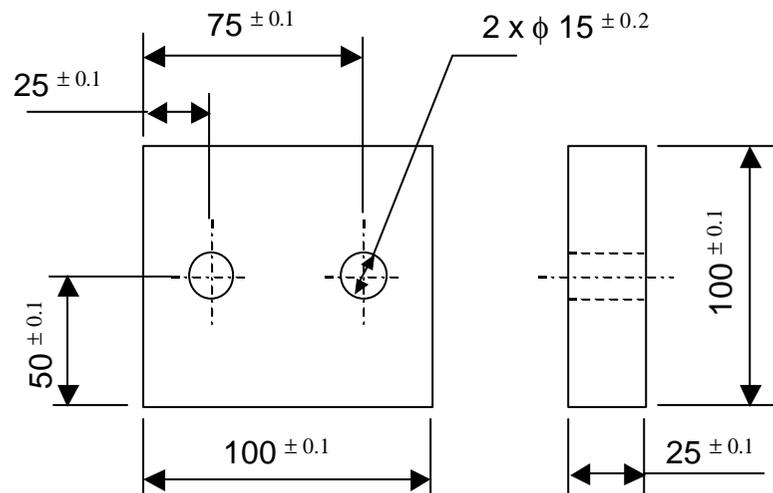
Possibilita diferentes interpretações do desenho que podem levar ao descarte de peças boas e aprovação de peças ruins.

Produtos mal cotados pagam eternamente o tributo da incompetência [5]

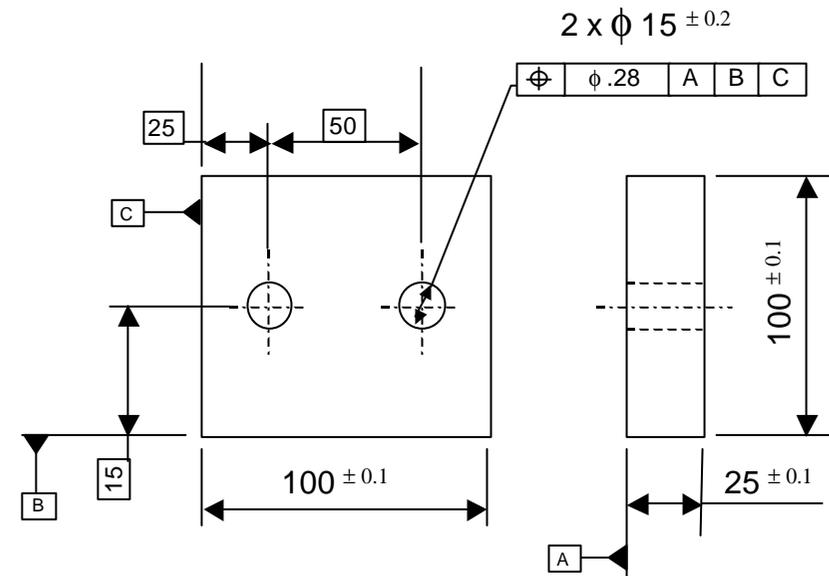
Exemplo:



Sistema Cartesiano

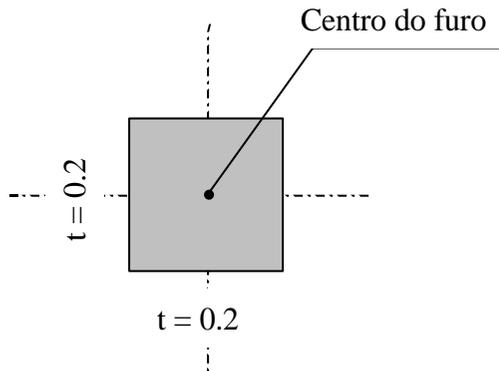


GD&T

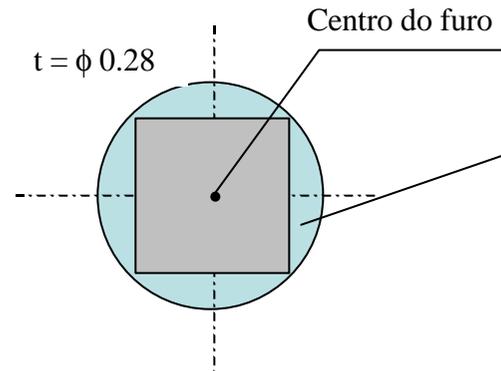


Zona de tolerância

Cartesiano: Retangular



GD&T: Circular

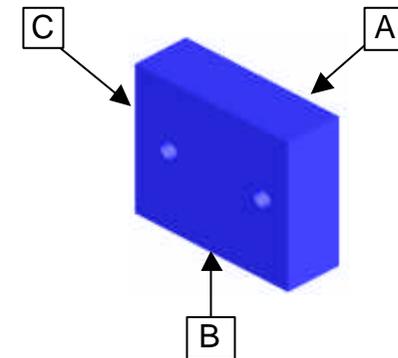


Ganho de 57% na zona de tolerância, garantindo a mesma funcionalidade do produto [6]

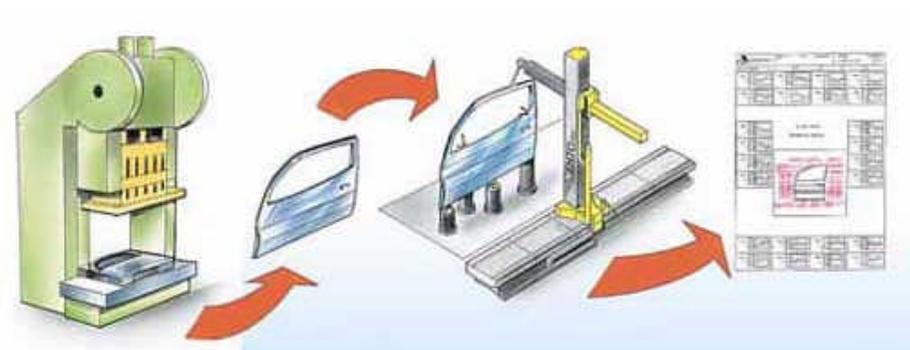
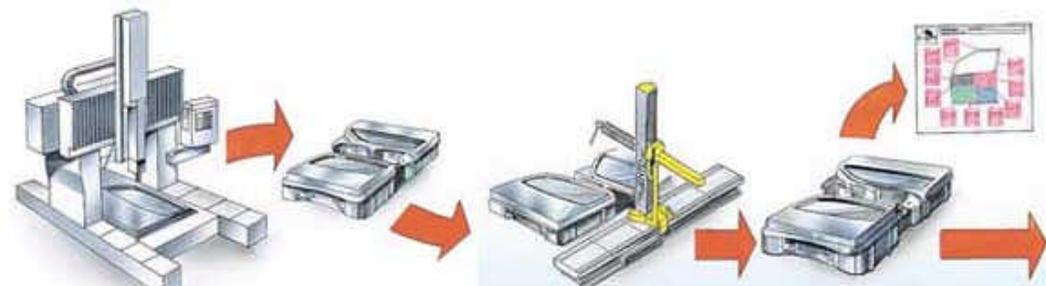
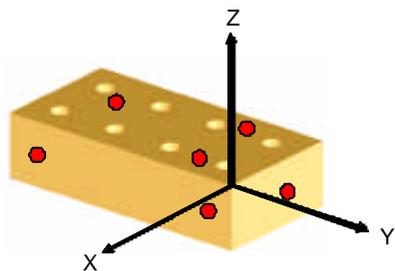
Referências funcionais

Cartesiano: Sem indicação clara (possibilita erro)

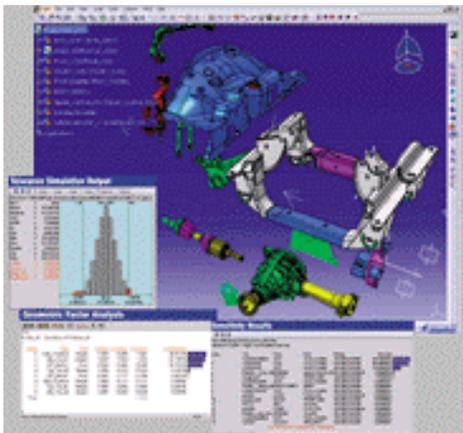
GD&T: Indicado explicitamente (sem ambigüidade)



As referências são vitais para a definição e manutenção de estratégias consistentes de fabricação e controle dimensional



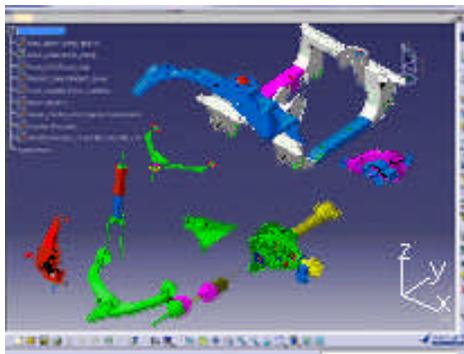
Software de simulação e análise de tolerâncias (*Computer Aided Tolerancing*)



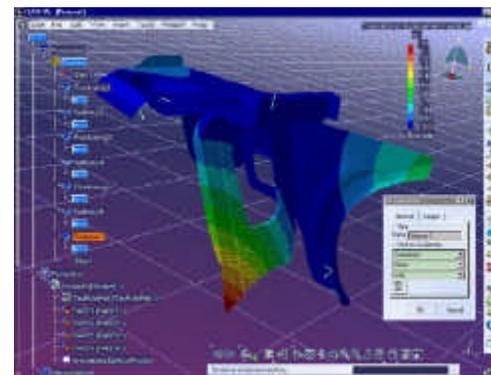
EDS

Amadurecimento digital da especificação geométrica do produto

- Menores custos
- Menores tempos de desenvolvimento
- Maior confiabilidade
- Especificação mais eficiente
- Qualidade gerada desde o início
- Integração com CAD e Processos
- Identificação de tolerâncias críticas
- Auxílio na elaboração de planos de controle



3DCS



Catia



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA
GERÊNCIA DE METAL MECÂNICA
LABORATÓRIO DE METROLOGIA**

Bons produtos começam por bons projetos. Desenvolver produtos melhores e mais baratos do que os concorrentes é vital. Se os novos produtos não forem competitivos as empresas quebram.

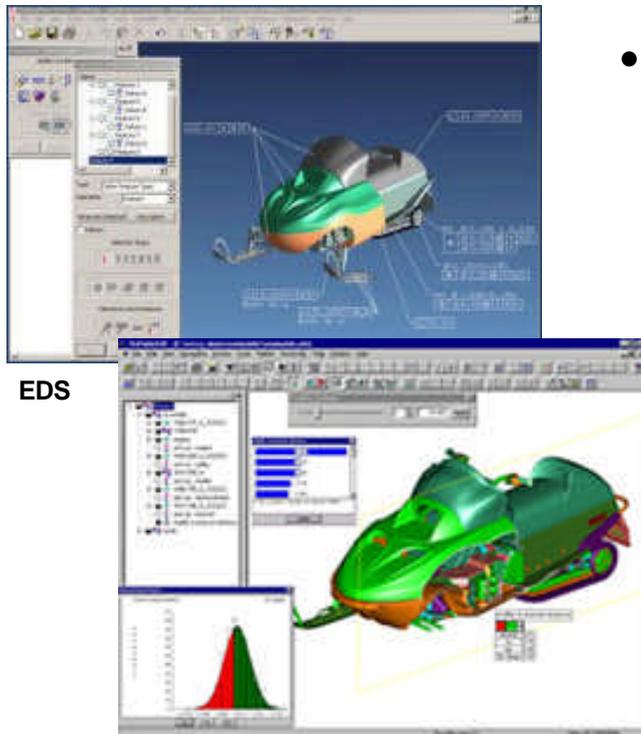
A rapidez também é importante. No passado admitia-se que alguns erros dimensionais só fossem descobertos quando o produto entrava em produção. Em consequência era necessário fazer modificações no ferramental que provocavam atrasos e despesas.

Isso mudou. O lote piloto agora é virtual. Os erros são identificados e resolvidos por intermédio de simulações computacionais enquanto o projeto está na engenharia, antes da fabricação do ferramental.

Bons projetos reduzem o custo e garantem qualidade. Não se deve esperar o produto entrar em produção para pensar em qualidade. Deve-se garantir ZERO defeito no desenvolvimento dos novos produtos. A probabilidade de sucesso das características funcionais deve ser maior que 99.99 %, em resumo, o projeto deve ser "seis sigma".

O resultado é compensador. Os problemas dimensionais são identificados e resolvidos enquanto o projeto se encontra na engenharia, antes da fabricação do ferramental. O produto nasce certo e sem problemas. O controle dimensional se faz sem problema. A atividade de manutenção dos desenhos praticamente desaparece, porque as alterações dimensionais acabam. As solicitações de desvio de produção e as falhas internas também desaparecem, porque os conflitos dimensionais foram resolvidos no momento mais oportuno, antes do produto entrar em produção.

Dimensões, Tolerâncias e Referências adequadas



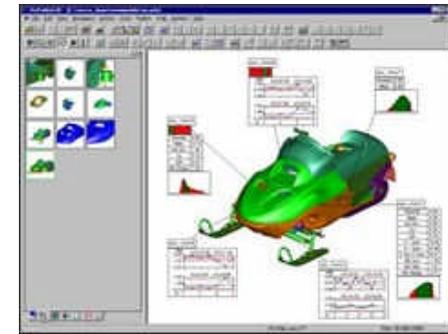
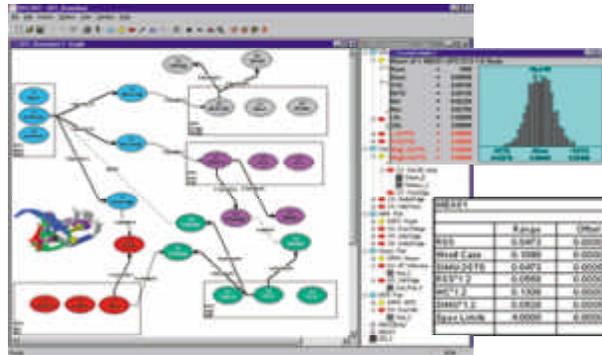
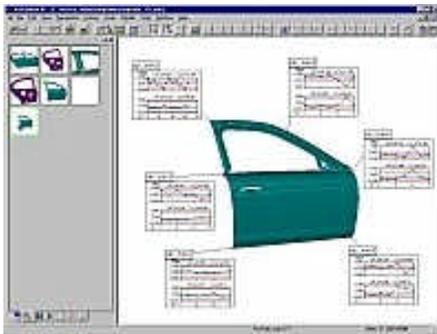
- **Especificação Geométrica Consistente**

- **Análise e simulação da variação dimensional**
- **Considerando a capacidade dos processos**
- **Considerando a deformação de montagem e uso**
- **Utilizando GD&T e simulação de Monte-Carlo**
- **Projeto 6-Sigma**
- **Calcula a capacidade de cada cota**
- **Ajuste da cadeia de tolerância para reduzir custos**
- **Identificação de cotas críticas**
- **Orienta a definição do plano de controle**

Não se deve esperar o produto entrar em produção para pensar em qualidade.

Deve-se garantir ZERO defeito no desenvolvimento dos novos produtos.

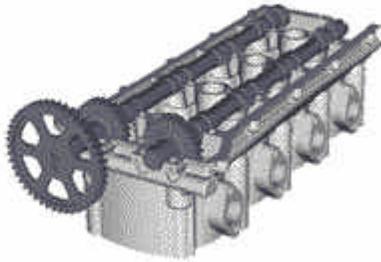
Planos de controle consistentes



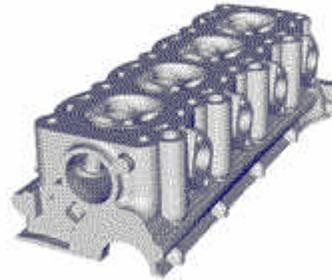
- Dimensões e tolerâncias críticas são identificadas
- As medições são priorizadas para as dimensões que realmente interessam
- Redução de custos com medições desnecessárias
- Melhor controle do produto e melhoria de qualidade
- A metrologia agrega valor

Aliado do uso da metrologia geométrica de modo racional e integrado

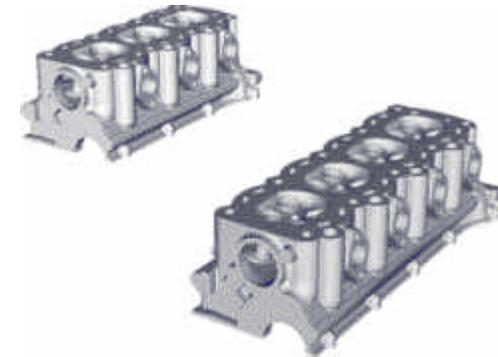
**Análise de montagem e
variação dimensional**



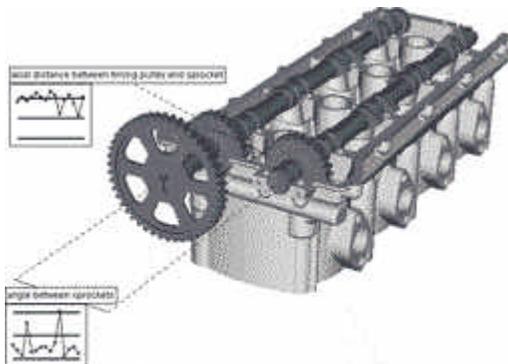
**Identificação de
características críticas**



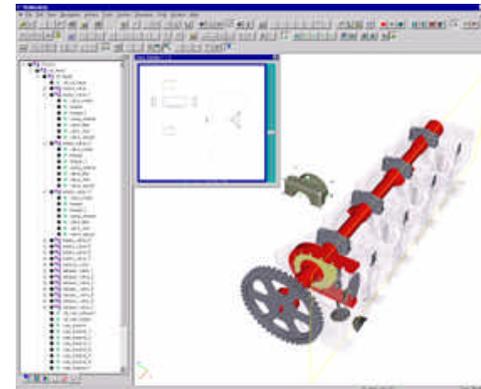
Modelamento paramétrico



Tipos de relatório



Visualização



EXEMPLO

Bucha auto-lubrificante de motor elétrico



Os motores elétricos dos aparelhos de ar condicionado devem ser extremamente silenciosos. Por esta razão os seus mancais são do tipo "bucha", não utilizando rolamentos porque eles fazem muito ruído. Esta solução resolve o problema do barulho, mas cria uma grande dificuldade no alinhamento dos mancais.

Como a folga eixo/bucha é muito apertada (8 μm), 92% dos motores montados apresentavam o defeito de "rotor preso". Para manter a velocidade da linha de montagem em 200 motores/hora, executava-se uma operação adicional de alinhamento dos mancais, que ocupava quatro funcionários.

Os problemas foram identificados e resolvidos com a aplicação da tecnologia de Gerenciamento Dimensional, de forma tal que o retrabalho caiu de 92% para apenas 1,5%, melhorando a qualidade, *umentando a produtividade* e reduzindo o custo.

Engenharia de Produto



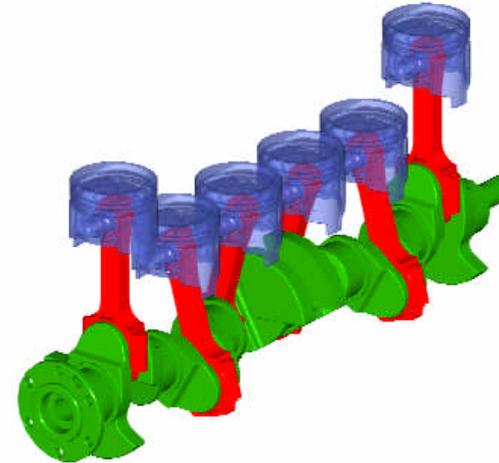
Engenharia Dimensional



Engenharia de Processo



Engenharia da Qualidade



Em todas essas etapas, a Engenharia de Precisão estará presente, nos conceitos, nos procedimentos e na execução das atividades que resultem, no menor tempo e custo, na obtenção de produtos com qualidade e custo competitivo.



- Referências Bibliográficas:

- [1] **Jensen, Cecil.** *Geometric Dimensioning and Tolerancing for Engineering and Manufacturing Technology*. Delmar Publisher Inc., 1993.
- [2] **ASME** – American Society for Mechanical Engineers. *Dimensioning and Tolerancing – ASME Y14.5M-1994*. New York, 1994.
- [3] **Weckenmann A. et ali.** *Geometrical Product Specifications – Course for Technical Universities*. Warsaw University of Tehcnology printing house, 2001.
- [4] **Silva, Daniel C, Pasin. A et al.** *Análise crítica de software de medição aplicado a máquinas de medição por coordenadas com relação ao uso do GD&T segundo à norma ASME Y14.5M-1994*. Congresso Brasileiro de Metrologia, Recife, 2003.
- [5] **Wandek, Maurício.** *Engenharia & metrologia virtuais de produtos mecânicos*. Congresso Brasileiro de Metrologia, Recife, 2003.
- [6] **Pasin, Alexandre.** *Análise crítica de software para controle dimensional aplicado a máquinas de medir por coordenadas com relação ao uso da linguagem GD&T segundo a norma Y14.5M-1994*. Monografia de final de curso, UNESP Guaratinguetá – SP, 2003.
- [7] **Krulikowski, Alex.** *Advanced concepts of GD&T: Based on ASME Y14.5M-1994*. Wayne: Effective Training Inc, 1999