

## METODOLOGIA PARA PROJETO ROBUSTO OFF-LINE DA QUALIDADE DO PRODUTO

**MACHADO**, Vicente N. \* Prof. do Departamento de Eletrônica do CEFET-PR – Doutorando do Curso de Pós Graduação em Metrologia da UFSC-SC

**SCHNEIDER**, Carlos Alberto Dr.Ing – Prof. Titular do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC

### Resumo:

Apresenta os conceitos sobre Projeto Robusto e seus relacionamentos com a confiabilidade ao longo da vida de um produto. As decisões tomadas na fase de projeto refletem-se ao longo da vida de um produto, e conseqüentemente em sua confiabilidade, deve-se empregar uma metodologia para sistematização das atividades de projeto de forma a tornar a atividade de projeto mais previsível com passos claros e bem definidos.

Propõe-se uma metodologia para o desenvolvimento de projetos robustos onde emprega-se os conceitos básicos da metodologia de projeto de parâmetros e tolerâncias de Taguchi, juntamente com técnicas modernas de desenvolvimento de produtos. (off-line = fora da linha de produção).

No Japão, a qualidade é considerada responsabilidade de todos os engenheiros e gerentes. Neste contexto Taguchi [1] desenvolveu um método de engenharia para melhoria da qualidade chamado de Engenharia da Qualidade no Japão e Projeto Robusto no Ocidente. Independente do nome, Projeto Robusto é o processo de engenharia que busca encontrar a melhor expressão do projeto de um produto. A melhor, é cuidadosamente definida de forma que o projeto seja a solução de mais baixo custo, para as especificações, que são orientadas pelas necessidades dos clientes. Custo inclui mais do que somente custos de manufatura. Também inclui custos de ciclo de vida e perdas para a sociedade (isto é, custos incorridos pelo fabricante, pelo cliente, e todos os outros afetados pelas deficiências do produto). Produtos de alta qualidade minimizam estes custos pela performance adequada.

Taguchi introduziu uma nova visão, na tradicional tarefa de engenharia de compatibilizar custos e qualidade, pela inclusão da qualidade do produto como uma dimensão a mais do custo.

### 1) Diagrama P

Podemos representar um determinado produto pelo diagrama de Produto / Processo, como ilustra a figura 1. A resposta mensurável do produto é  $y$ . A resposta  $y$ , pode ser qualquer característica adequada, chamada para efeitos de projeto robusto de característica da qualidade.

Os fatores que influenciam a característica da qualidade são:

- a) Fator de Sinal ( $S$ ): Parâmetros ajustados pelo usuário ou operador em função da resposta pretendida para o sistema.

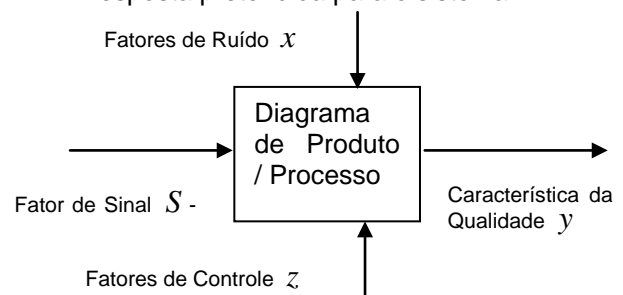


Fig 1- Diagrama em blocos do processo ou produto (diagrama P) [5]

- b) Fatores de Ruído ( $x$ ): Certos parâmetros não podem ser controlados pelo projetista e são chamados fatores de ruído. Os níveis dos fatores de ruído modificam de uma unidade para outra de um ambiente para outro e de tempo em tempo.
- c) Fatores de Controle ( $z$ ): Parâmetros especificados livremente pelo projetista. Sendo da responsabilidade deste determinar os melhores valores dos parâmetros. Cada fator de controle pode ter múltiplos valores chamados de níveis. Quando os níveis de certos parâmetros de controle mudam o custo de manufatura não se altera, contudo quando o nível de outros se alteram o custo de manufatura também se altera. Normalmente fatores de controle que afetam os custos são chamados de “fatores de tolerância” enquanto os outros fatores simplesmente de “fatores de controle”.

A identificação dos fatores de sinal, fatores de ruído e fatores de controle num projeto específico é uma tarefa importante. A melhor escolha dos níveis dos parâmetros de controle é feita durante o “projeto de parâmetros” inicialmente, e mais adiante através do “projeto de tolerâncias”.

Os produtos/processos podem ser classificados de acordo com o fator de sinal ( $S$ ) e a característica de qualidade ( $y$ ). Em alguns problemas o fator de sinal tem um valor constante, tais problemas são chamados “problemas estáticos”. Em outros onde o sinal é variável, denomina-se de “problemas dinâmicos”.

Na escolha da característica da qualidade ( $y$ ) deve-se levar em conta a meta maior em Projeto Robusto de converter o quanto mais de energia de entrada na saída projetada. O projeto deve ser otimizado em consideração a transformação de energia requerida. Deve ser insensível às ineficiências nas requeridas transformações de energia, bem como às fontes externas de energia que tendem a degradar a performance. O detalhamento das estruturas funcionais de um sistema ajuda a compreender as transformações de energia que o processo sofre e conseqüentemente na escolha da característica de qualidade do sistema.

## 2) Ruídos e Confiabilidade

A ação do ruído sobre o produto ocasiona problemas de confiabilidade. Falhas do produto podem ser caracterizadas em relação ao tempo de vida de um produto. Três categorias são usualmente identificadas [3]: falhas de início de vida (infância), falhas durante a vida normal do produto, e falhas de fim de vida. Métodos clássicos de confiabilidade estimam estas falhas em um gráfico chamado de “curva da banheira” que é mostrada na figura 2.

Esta curva estabelece que a probabilidade de falha é alta durante a infância (nos estágios iniciais de vida de um produto) e no fim da vida, enquanto apresenta baixa taxa de falhas durante o período normal de vida.

Falhas de infância são atribuídas a falhas latentes, isto é, defeitos devido a variações no processo de manufatura que não são aparentes durante a inspeção.

Esta causas de ruído de unidade para unidade causam falhas de campo quando falhas latentes são sujeitas a ruídos externos.

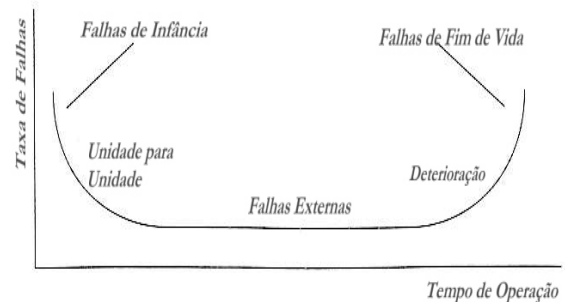


Fig 2 – Curva da Banheira, representando a taxa de falhas ao longo da vida de um produto [3].

O ruído de unidade para unidade representa variações de manufatura que resultam em produtos próximos de falhar, resultando em falhas de infância. Quando as unidades falhas são eliminadas da população, a taxa de falhas declina.

O tipo mais comum de ruído encontrado é o ruído externo. Ruídos externos estão presentes em vários níveis, a todo o tempo. Compensação através de controles tipo “feedback control” são caros e adicionam complexidade ao projeto. A eliminação de ruídos externos requer que restrições sejam feitas no uso do produto pelo cliente. Por exemplo especificação de temperatura ambiente e ciclos de uso. A taxa de falhas aleatória que caracteriza o fundo da banheira é atribuída a ruídos externos.

Eventualmente os efeitos cumulativos de ruídos de deterioração e ruídos externos causam as falhas de fim de vida. Como resultado a taxa de falhas sobe após um longo tempo em serviço.

Há mais aspectos da qualidade do que prevenir falhas. O projeto robusto busca identificar ruídos que promovam não somente falhas, mas também pequenos desvios de performance durante os estágios de vida de um produto. O time de engenheiros precisa fazer projetos insensíveis a ruídos durante a vida do produto, bem como a ruídos não aleatórios de infância e fim de vida do produto.

## 3) Função Perda Quadrática:

Define-se o nível de qualidade de um produto pela perda total da sociedade causada pela falha do produto em entregar a performance projetada e seus efeitos secundários, incluindo custo de operação. Quantificar esta perda é muito difícil porque o mesmo produto pode ser usado por diferentes clientes, em diferentes aplicações e sobre diferentes condições de uso.

Taguchi introduziu a noção de perda da qualidade a partir do ponto que um produto desvia-se das suas características. A função perda quadrática pode aproximar-se da função perda na maioria das situações. Pode-se representar como na figura 3, a função perda da qualidade quadrática.

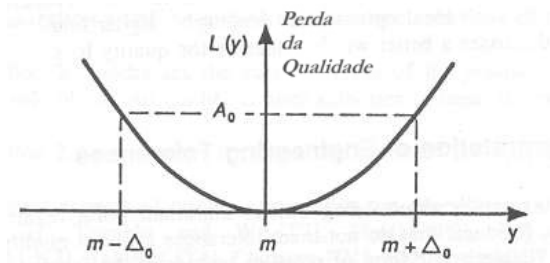


Fig 3 – Função perda da qualidade quadrática.

De acordo com a função quadrática a função perda da qualidade é dada por [6] :

$$L(y) = K(y - m)^2$$

onde  $K$  é uma constante chamada coeficiente de perda da qualidade,  $y$  a característica da qualidade,  $m$  valor nominal de projeto,  $\Delta_0$  máximo desvio tolerado,  $A_0$  máxima perda tolerada e  $L(y)$  a perda de qualidade. Note que quando  $y = m$  a perda é zero.

#### 4) Função Perda da Qualidade Média

Por causa dos fatores de ruído, a característica da qualidade  $y$  de um produto varia de unidade para unidade e de tempo em tempo durante o uso do produto. Supondo que a distribuição de  $y$  resultante de todas as fontes de variação, seja a mostrada na figura 4.

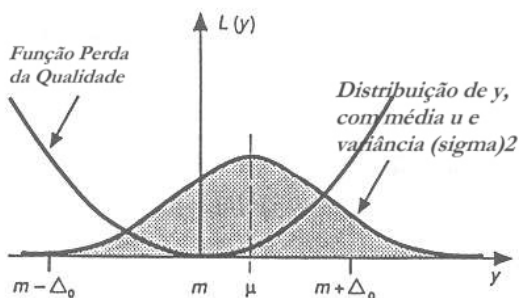


Fig 4 – Função perda da qualidade média [6].

Obtidas  $y_1, y_2, \dots, y_n$  representando  $n$  medidas da característica da qualidade  $y$ , tomadas em unidades representativas ao longo da vida do

produto. Sendo  $y$  uma característica onde temos um valor ideal e desvios a partir deste (nominal-the-best) e  $m$  seu valor projetado.

Nota-se que a distribuição apresentada tem um desvio em relação ao ponto ideal  $m$  e também uma dispersão característica. Com o intuito de minimizar as perdas deve-se ajustar  $m$  e diminuir a dispersão. Normalmente o ajuste do desvio de  $m$  é mais simples de ser efetuado do que a diminuição da dispersão, onde deve-se trabalhar com os diferentes tipos de ruído que atuam no produto.

#### 5) Metodologia para Projeto Robusto Off-Line da Qualidade do Produto.

Projetar um produto ou processo de manufatura é uma atividade complexa. A saída da atividade é uma série de desenhos e especificações escritas que esclarecem como fazer um produto em particular. Três elementos essenciais destes desenhos e especificações são: (a) arquitetura do sistema (Projeto Conceitual) (b) valor nominal para os parâmetros do sistema e (c) a tolerância ou a variação permitida de cada parâmetro. Otimizar um produto ou processo significa determinar a melhor arquitetura, os melhores valores de parâmetros e a melhor tolerância.

A relação entre os numerosos parâmetros e a resposta, não é normalmente conhecida, e deve ser observada experimentalmente.

A metodologia proposta na Fig 5 inicia na fase de projeto conceitual com as necessidades do usuário / cliente, através de Desdobramento da Função Qualidade, traz-se estas solicitações para dentro do projeto confrontando-as com os requisitos técnicos. O detalhamento das estruturas funcionais do produto e sua disposição em uma Matriz Morfológica [2] possibilita a geração de alternativas de projeto. Após a geração das alternativas deve-se avaliar a viabilidade destas através de uma Matriz de Avaliação. Empregando-se critérios mercadológicos e ferramentas de Caracterização / Predição da Confiabilidade, Arvore de Falhas e FMECA entre outra possíveis.

O Projeto de Parâmetros [4] vem em seguida após a definição de uma ou mais alternativas de projeto. Nesta fase determina-se experimentalmente, utilizando-se ferramentas como Taguchi e DOE, qual a melhor configuração dos parâmetros de controle do produto de forma a torna-lo insensível aos ruídos.

No Projeto de Tolerâncias [3] a última etapa, busca-se uma solução de compromisso entre:

Custo de Fabricação, Custo ao longo da vida do produto e Custo de Perda da Qualidade. Nesta fase vai-se apertar as tolerâncias dos componentes mais críticos que não puderam ser otimizados no Projeto de Parâmetros. Não deve-se nunca partir para o Projeto de Tolerâncias sem antes uma otimização no Projeto de Parâmetros,

caso contrário pode-se aumentar o custo do projeto sem necessidade. Nesta etapa utiliza-se a experimentação para determinar os parâmetros críticos, fazendo-se uma avaliação dos ganhos de qualidade e aumentos dos custos.

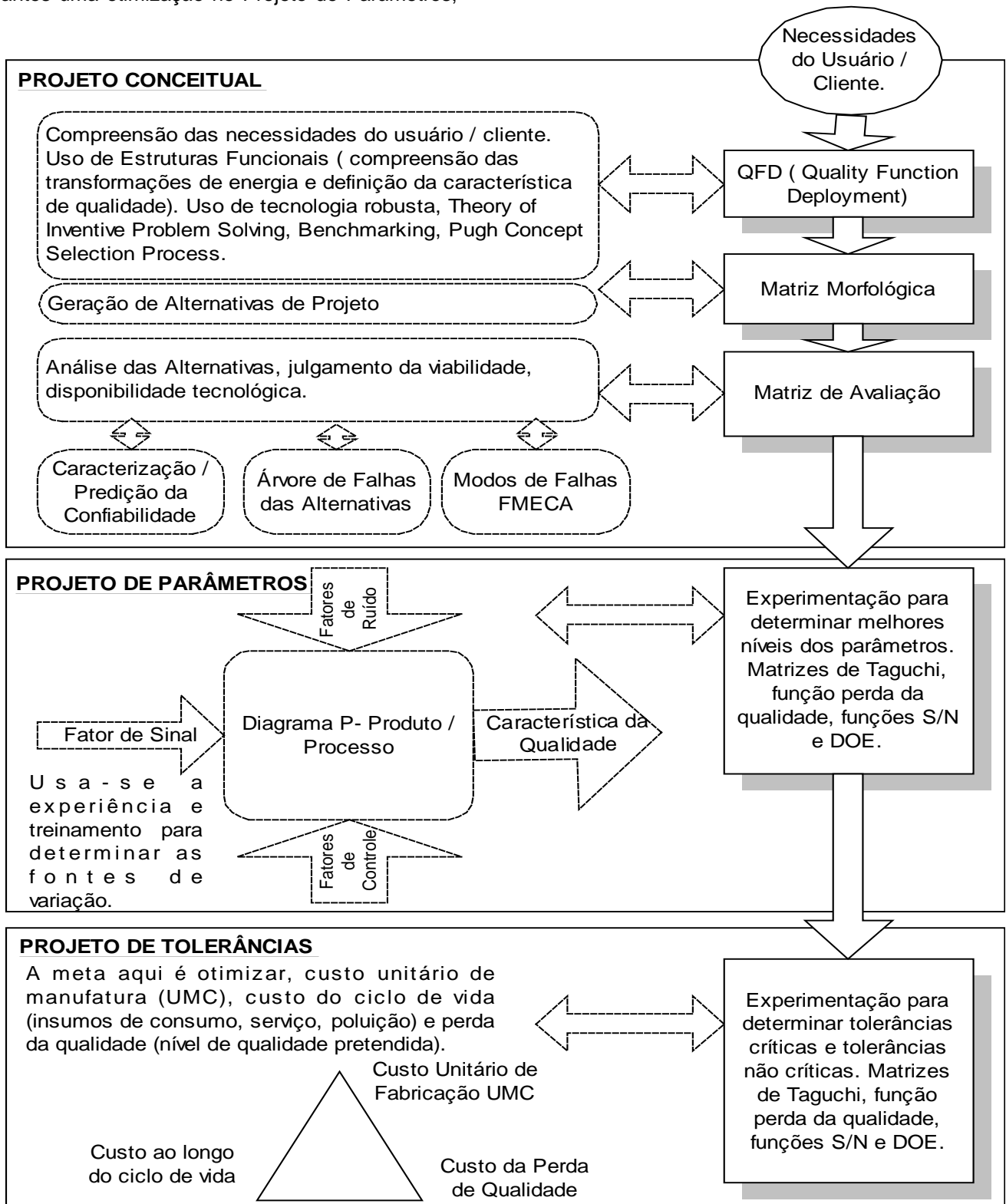


Fig 5 – Metodologia para Projeto Robusto Off-Line da Qualidade do Produto.

## 7) Conclusões.

As técnicas aqui apresentadas são de grande valia na sistematização da atividade de projeto e pretendem tornar a atividade mais compreensível. Não tiram de nenhuma forma a liberdade de criação do projetista.

Estas técnicas vão de encontro à tendência de integração cada vez maior entre o consumidor com as atividades de projeto e produção. Isto pode ser proporcionado pela função perda de qualidade e ferramentas como QFD. Detalhes construtivos, dimensionais devem ser pensados o quanto antes na fase de projeto, gerando o mínimo possível de reprojeto. Hoje em dia as rápidas mudanças do mercado não permitem que os produtos, após a fase de projeto, passem por um longo caminho até estarem perfeitamente adaptados ao processo produtivo. A integração das diferentes ferramentas aqui apresentadas, vai de encontro a tendência dos produtos após a fase de projeto, já estarem perfeitamente integrados com a produção, de forma a chegarem o mais cedo possível e livres de falhas, às mãos do consumidor.

Para realizar a detalhada atividade técnica de desenvolvimento de um produto, (principalmente na fase de projeto conceitual) deve-se despender esforços para construir uma base de dados das necessidades do cliente e tolerâncias. Com estas pode-se avaliar as funções perdas de qualidade e incorporar este conhecimento no projeto. Não compreendendo quais as necessidades, e o que

é tolerável pelo consumidor, se estará produzindo coisas pouco atraentes ao consumidor.

Se toda esta preocupação pela necessidade do consumidor é tão óbvia e esta se tornando a maior verdade na indústria ocidental, porque não há um largo uso da função perda de qualidade? Em parte a razão pode ser atribuída, por muitas organizações terem os grupos de Marketing e Vendas com agendas separadas, metas de performance, vocabulários, e processos de trabalho, diversos do grupo de Engenharia de Desenvolvimento de Produtos. A equipe de Marketing vê e fala com o cliente freqüentemente. O time de Engenharia ocasionalmente, mas geralmente esta isolados de detalhes. Por causa disto eles tem diferentes perspectivas. Freqüentemente o Marketing e o time de Engenharia possuem opções tecnológicas fora de sincronismo. O problema é como fazer estes times trabalharem juntos nas coisas certas. Os times necessitam uma métrica comum para quantificar valor e qualidade em termos econômicos e técnicos. Esta métrica pode ser suprida pela função perda de Taguchi.

O projeto de tolerâncias ainda tem uma metodologia pouco prática para possibilitar o seu uso em larga escala, mas acredito no desenvolvimento de metodologias que tornem o seu uso mais difundido. O Projeto Robusto pode utilizar-se de várias ferramentas com o objetivo principal de tornar o produto insensível a ruídos para isto a atuação na fase de projeto onde especifica-se as partes gerando menores custos é fundamental para ter-se um bom projeto

## Referências Bibliografica:

- [1] AMERICAN SUPPLIER INSTITUTE. **Robust Design Using Methods - Workshop Manual**. USA: American Supplier Institute, 1999
- [2] BACK, Nelson; FORCELLINI, Fernando A.. **Projeto de Produtos**. Apostila do Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, 1999
- [3] CREVELING, C.M.. **Tolerance Design - A Handbook for Developing Optimal Specifications**. Canada: Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1996
- [4] FOWLKES, William Y.; CREVELING, Clyde M.. **Engineering Methods for Robust Product Design**. Massachusetts Institute of Technology: Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1995
- [5] O'CONNOR Patrick D.T.. **Practical Reliability Engineering**. 3ª Ed. British Aerospace Dynamics Group, Stevenage: John Wiley & Sons, Inc, 1991.
- [6] PHADKE, Madhav S.. **Quality Engineering Using Robust Design**. New Jersey: Prentice - Hall, Inc, 1989.