



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de São Carlos

Disciplina:

SEP 0280 - Qualidade Aplicada a Manufatura

Notas de Aula - Qualidade Aplicada a Manufatura

Parte 2 – Qualidade e Manufatura – Métodos Estatísticos

Autores

Jessica Alves Justo Mendes

Luana Coelho de Moraes

Prof. Mateus Cecílio Gerolamo

São Carlos

2020

Sumário

Introdução.....	3
Qualidade Aplicada a Manufatura.....	3
Terminologia de Engenharia de Qualidade	5
Métodos Estatísticos para a Qualidade.....	7
O Programa Seis Sigma.....	15
Outros Programas para a Melhoria do Sistema de Produção	19
Referências	20

Introdução

Neste material, apresentamos as notas de aula com o objetivo de aprofundar os conhecimentos dos alunos da disciplina SEP 0280 - Qualidade Aplicada a Manufatura. A base para os conceitos, em sua grande parte, advém do primeiro capítulo do livro de Montgomery (2004) e do quarto capítulo do livro de Dahlgaard et al. (2007).

Qualidade Aplicada a Manufatura

Em relação especificamente a qualidade na manufatura, Montgomery (2004) apresenta, uma definição mais moderna: **Qualidade é inversamente proporcional à variabilidade**. Essa definição implica que se a variabilidade nas características importantes de um produto decresce, a qualidade do produto aumenta. Observe que esta definição implica que, se a variabilidade (indesejada ou prejudicial) nas características importantes de um produto diminuir, a qualidade do produto aumentará.

Caso: Toyota versus Ford (Montgomery, 2004, p. 3-4)

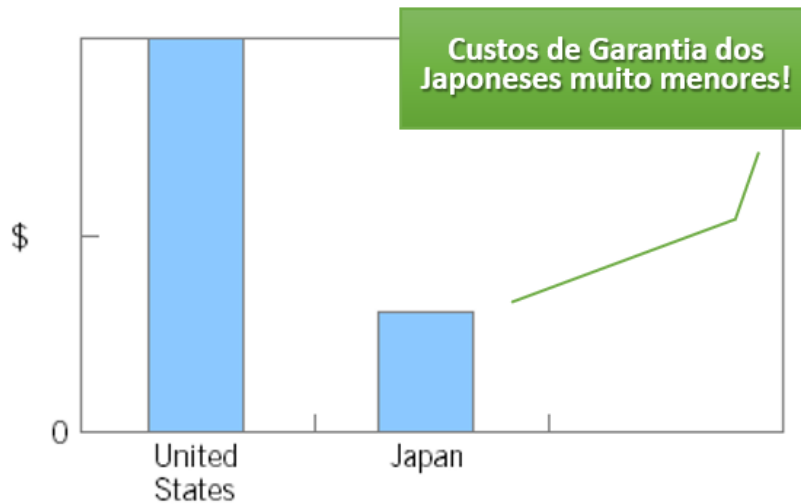
A empresa americana (Ford) decidiu realizar um estudo comparativo entre a transmissão fabricada em uma fábrica nos EUA e a fornecida pelo fabricante japonês (Toyota). No caso de Transmissões de Automóveis:

- Ruído na transmissão significa energia desperdiçada causada por componentes que não se encaixam perfeitamente;
- Componentes imprecisos podem implicar em quebras;

A análise dos termos de garantia e dos custos de reparo mostrou que havia uma diferença evidente entre as duas fontes de produção, tendo a transmissão japonesa custos muito menores.

Como parte do estudo para detectar a causa dessa diferença no custo e desempenho, a companhia selecionou amostras aleatórias de transmissões de cada fábrica, desmontou-as, e mediu várias características críticas da qualidade. A figura 1 apresenta um gráfico relativo aos custos de garantia para transmissões.

Figura 1 - Custos de garantia para transmissões

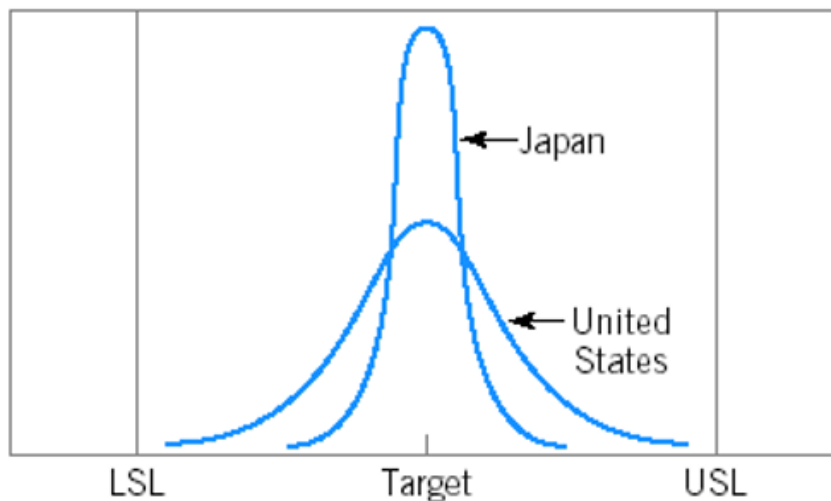


Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

Observou-se muito menos variação nas características críticas de qualidade nas transmissões fabricadas pelos japoneses em comparação com as fabricadas pelos EUA.

Para os Japoneses, variabilidade reduzida se traduzia diretamente em menores custos. Além disso, as transmissões japonesas passavam as marchas muito mais suavemente, rodavam mais silenciosamente, e eram, em geral, percebidas pelos consumidores como superior quando comparada com as transmissões americanas. A figura 2 apresenta um gráfico relativo as distribuições das dimensões críticas para transmissões.

Figura 2 - Distribuições das dimensões críticas para transmissões



Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

Menos reparos e termos de garantia significam menos retrabalho e redução de gastos de tempo, esforço e dinheiro. **“Seu cliente não enxerga a média do seu processo, ele apenas vê a variabilidade em torno do alvo que você não removeu do processo.”**

Qualidade é, portanto inversamente proporcional à **variabilidade** e pode, também, ser traduzida com precisão em uma linguagem que todos (particularmente gerentes e executivos) entendem, isto é, **dinheiro**. A variabilidade excessiva no desempenho de um processo resulta, em geral, em **desperdício**. Isso nos leva a definição de melhoria da qualidade: **redução de variabilidade nos processos e produtos**. Uma definição alternativa e altamente útil é a de que a **melhoria da qualidade** é a **redução do desperdício**.

Terminologia de Engenharia de Qualidade

Cada produto possui uma série de elementos que em conjunto descrevem o que o usuário ou consumidor pensa quando se trata de qualidade. Esses parâmetros são frequentemente chamados de características da qualidade. Às vezes essas são chamadas de características críticas para a qualidade (CTQ). As características de qualidade podem ser:

1. **Físico**: comprimento, peso, tensão, viscosidade
2. **Sensorial**: sabor, aparência, cor
3. **Orientação temporal**: confiabilidade, durabilidade, facilidade de manutenção

Observe que os diferentes tipos de características de qualidade podem se relacionar direta ou indiretamente com as dimensões da qualidade discutidas por Garvin (1987).

Nesse contexto, **Engenharia da qualidade** é o conjunto de atividades operacionais, gerenciais e de engenharia que uma empresa usa para garantir que as características de qualidade de um produto estão no valor nominal ou níveis exigidos e que a variabilidade em torno desses níveis desejados é mínima.

A maioria das organizações acha difícil (e caro) fornecer ao cliente produtos com características de qualidade que são sempre idênticas de unidade para unidade, ou estão em níveis que correspondem às expectativas do cliente. A principal razão para isso é a **variabilidade**, algo que existe (de certa forma) em cada produto (consequentemente, dois produtos nunca são idênticos).

Por exemplo, a espessura das pás em um impulsor de motor de turbina a jato não é idêntica, mesmo no mesmo impulsor. As **fontes de variabilidade** incluem **diferenças nos materiais, diferenças no desempenho e operação do equipamento de fabricação e diferenças na forma como os operadores realizam suas tarefas.**

Uma vez que a variabilidade só pode ser descrita em termos estatísticos, os métodos estatísticos desempenham um papel central nos esforços de melhoria da qualidade. Na aplicação de métodos estatísticos à engenharia da qualidade, é bastante comum classificar os dados sobre as características da qualidade como **atributos** ou **dados variáveis**. Dados variáveis são geralmente medições contínuas, como comprimento, tensão ou viscosidade. Dados de atributos, por outro lado, são geralmente dados discretos, muitas vezes tomando a forma de contagens, como o número de pedidos de empréstimo que não poderiam ser processados devido à falta de informações necessárias ou o número da sala de emergência chegadas que têm que esperar mais de 30 minutos para receber atendimento médico.

As características de qualidade são frequentemente **avaliadas em relação às especificações**. Para um produto manufaturado, as especificações são as medidas desejadas para as características de qualidade dos componentes e subconjuntos que compõem o produto, bem como os valores desejados pelas características de qualidade do produto final.

Um valor de uma medição que corresponde ao valor desejado para essa característica de qualidade é chamado de **valor nominal** ou **valor-alvo** para essa característica. Esses valores alvo são geralmente limitados por uma faixa de valores que, mais comumente, acreditamos que serão suficientemente próximos da meta para não impactar a função ou o desempenho do produto se a característica de qualidade estiver nessa faixa. O maior valor permitido para uma característica de qualidade é chamado de **limite superior de especificação** (LSE / USL), e o menor valor permitido para uma característica de qualidade é chamado de **limite inferior de especificação** (LIE / LSL). Algumas características de qualidade têm limites de especificação em apenas um lado do alvo. Por exemplo, a resistência à compressão de um componente usado em um para-choque de automóvel provavelmente tem um valor alvo e um limite de especificação inferior, mas não um limite de especificação superior.

As **especificações** geralmente são o resultado do processo de projeto de engenharia do produto. Tradicionalmente, os engenheiros de projeto chegaram a uma configuração de projeto de produto por meio do uso de princípios da ciência da

engenharia, o que muitas vezes resulta na especificação de valores-alvo para os parâmetros de projeto críticos. Em seguida, seguem a construção do protótipo e os testes. Por meio desse procedimento geral, os limites de especificação são geralmente determinados pelo engenheiro de projeto. Em seguida, o produto final é liberado para a fabricação. Nós nos referimos a isso como a **abordagem over-the-wall para design**.

Os problemas na qualidade do produto geralmente **são maiores** quando a abordagem over-the-wall para design é usada. Nessa abordagem, as especificações são frequentemente definidas **sem levar em conta a variabilidade inerente** que existe em materiais, processos e outras partes do sistema, o que resulta em componentes ou produtos que não estão em conformidade; ou seja, produtos não conformes são aqueles que não atendem a uma ou mais de suas especificações. Um tipo específico de falha é chamado de **não conformidade**. Um produto não conforme não é necessariamente impróprio para uso; por exemplo, um detergente pode ter uma concentração de ingredientes ativos que está abaixo do limite de especificação inferior, mas ainda pode ter um desempenho aceitável se o cliente usar uma quantidade maior do produto. Um produto não-conforme é considerado defeituoso se tiver um ou mais defeitos, que são não-conformidades sérias o suficiente para afetar significativamente o uso seguro ou eficaz do produto. Obviamente, a falha de uma empresa em melhorar seus processos de fabricação também pode causar não-conformidades e defeitos.

Nos últimos anos, a ênfase tem sido em **engenharia simultânea**, que enfatiza uma abordagem de equipe para o projeto, com especialistas em manufatura, engenharia de qualidade e outras disciplinas trabalhando junto com o projetista do produto nos estágios iniciais do processo de projeto do produto. Além disso, o uso eficaz da metodologia de melhoria da qualidade se dá em todos os níveis do processo usado na comercialização de tecnologia e realização de produto, incluindo design de produto, desenvolvimento, fabricação, a distribuição e o suporte ao cliente desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade.

Métodos Estatísticos para a Qualidade

Este curso é concentrado na tecnologia estatística e de engenharia que é útil na melhoria da qualidade. Especificamente, focalizamos três áreas principais:

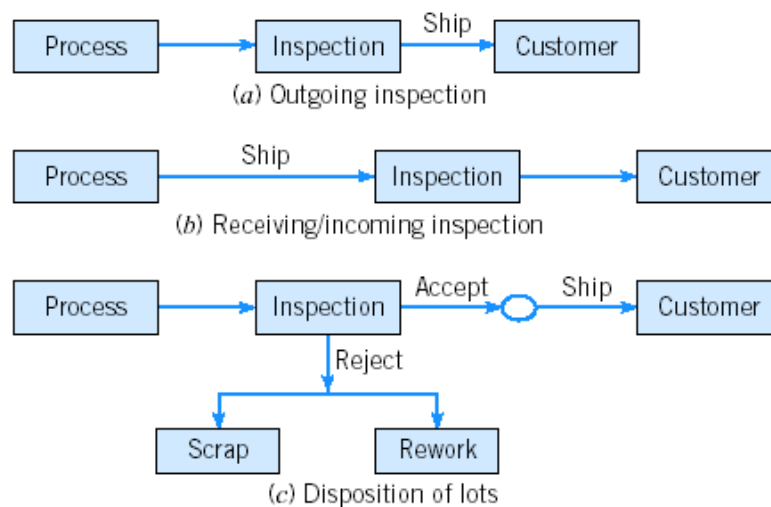
- **Amostragem de Aceitação / Inspeção;**

- **Controle Estatístico de Processos;** e
- **Planejamento de Experimento.**

A primeira área do controle e da melhoria da qualidade que discutiremos é a **amostragem de aceitação**. A **amostragem de aceitação** pode ser definida como a **inspeção e classificação** de uma amostra de unidades selecionadas aleatoriamente de uma remessa ou lote maior. Isto está intimamente ligado à inspeção e ao teste do produto, que é um dos primeiros aspectos do controle da qualidade, remontando a um período anterior ao desenvolvimento da metodologia estatística para a melhoria da qualidade. A inspeção pode ocorrer em muitos pontos do processo. A amostragem de aceitação, definida como a inspeção e classificação de uma amostra de unidades selecionadas aleatoriamente de uma remessa ou lote maior e a decisão final sobre o destino do lote, ocorre, em geral, em dois pontos: na entrada de matérias-primas ou componentes, ou na produção final.

Ainda em relação as diferentes amostragens de aceitação (Figura 3), temos:

Figura 3 - Variações de amostragem de aceitação



Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

(a) Inspeção na Saída

Operação de inspeção feita imediatamente após a produção, antes de o produto ser embarcado para o cliente.

(b) Inspeção na Recepção / Entrada

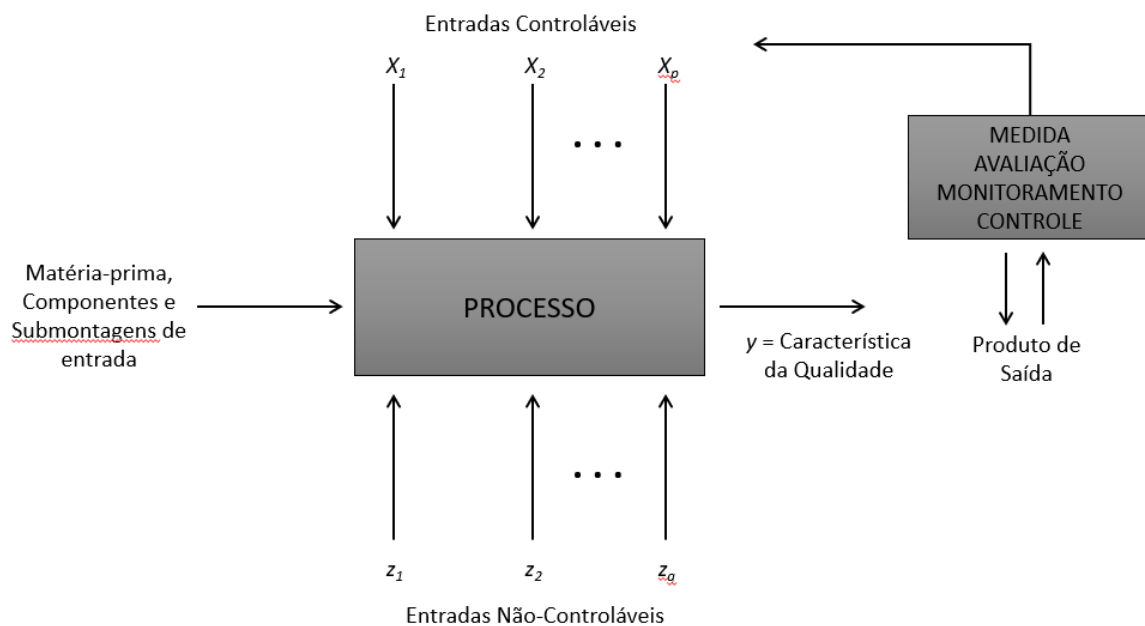
Tiram-se amostras de vários lotes do produto assim que são recebidos do fornecedor.

(c) Disposição dos Lotes

Decisões sobre o destino de lotes são ilustradas na parte (c) da figura. Lotes dos quais se extraíram amostras podem ser aceitos ou rejeitados. Os itens de um lote rejeitado são normalmente descartados ou reciclados, ou podem ser retrabalhados ou substituídos por unidades perfeitas. No último caso, temos o que se chama de **inspeção de retificação**.

Em relação ao **Controle Estatístico de Processos**, a Figura 4 mostra as Entradas e Saídas de Um Processo de Produção.

Figura 4 - Entradas e Saídas de Um Processo de Produção.

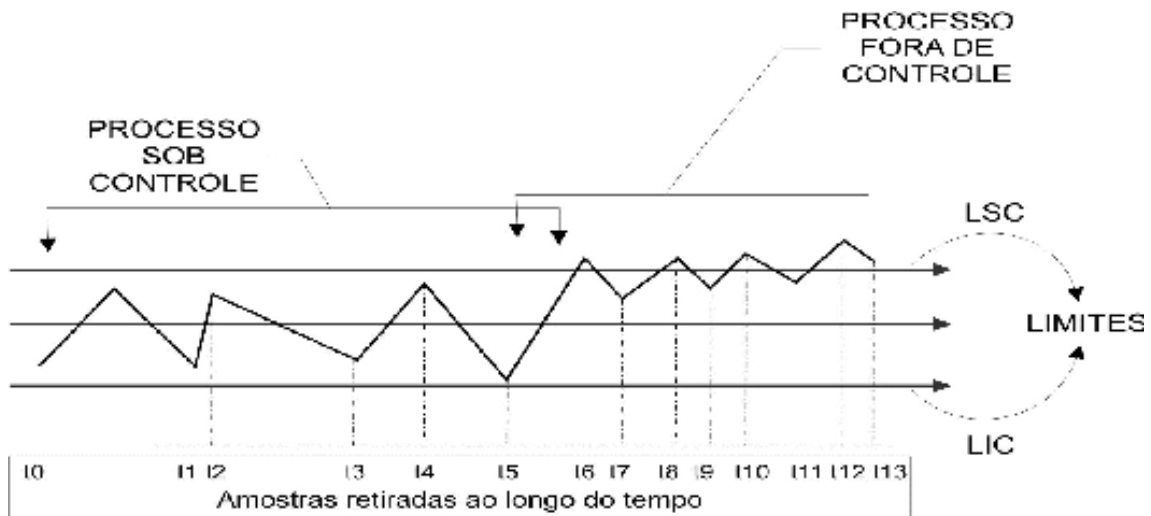


Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

A figura anterior apresenta um processo de produção como um sistema com um conjunto de entradas e uma saída. As entradas x_1, x_2, \dots, x_p são fatores controláveis tais como temperatura, pressão, taxas de alimentação e outras variáveis do processo. As entradas z_1, z_2, \dots, z_q são fatores não-controláveis (ou difíceis de controlar) tais como fatores ambientais ou propriedades das matérias-primas apresentadas pelo fornecedor. O processo de manufatura transforma essas entradas em um produto acabado que tem várias características de qualidade. A variável de saída y é uma medida da qualidade do processo.

Um **gráfico de controle** é uma das técnicas principais do **Controle Estatístico do Processo** ou **CEP**. O gráfico a seguir (Figura 5) ilustra um típico gráfico de controle.

Figura 5 - Gráfico de Controle



Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

O gráfico plota as médias das medidas de uma característica de qualidade em amostras do processo *versus* tempo (ou número de amostras). O gráfico tem uma linha central (LC) e limites superior e inferior de controle (LSC e LIC). A linha central representa onde essa característica do processo deveria estar se não estivessem presentes fontes de variabilidade. Os limites de controle são determinados a partir de algumas considerações estatísticas (discutidas *a posteriori* no curso). Classicamente, os gráficos de controle se aplicam às variáveis de saída em um sistema. Entretanto, em alguns casos, podem ser aplicados, também, às entradas.

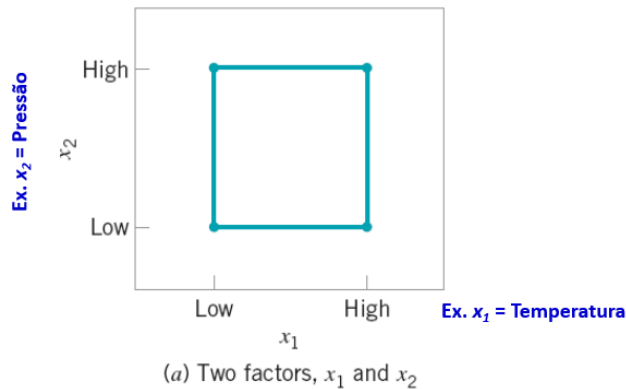
O gráfico de controle é uma **técnica de monitoramento do processo** muito útil; quando fontes não usuais de variabilidade estão presentes, as médias amostrais serão plotadas fora dos limites de controle. Isto é um **signal** da necessidade de alguma investigação do processo e de que alguma ação corretiva deve ser tomada para a remoção dessas fontes não-usuais de variabilidade. O uso sistemático do gráfico de controle é um excelente modo de reduzir a variabilidade.

Em relação ao **Planejamento de Experimentos**, temos que um experimento planejado é extremamente útil na descoberta das variáveis-chave que influenciam as características da qualidade de interesse no processo. Um experimento planejado é uma abordagem de variação sistemática de fatores de entrada controláveis no processo e de determinação do efeito que esses fatores têm nos parâmetros do produto de saída. Experimentos estatisticamente planejados são valiosos na redução da variabilidade nas

características da qualidade e na determinação dos níveis das variáveis controláveis que otimizam o desempenho do processo. Um tipo importante de experimento planejado é o **desenho fatorial**, no qual variam-se todos os fatores de tal modo que todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores são testadas. As figuras 6 e 7 apresentam exemplos de Desenhos Fatoriais para o Processo.

Figura 6 - Desenhos Fatoriais para o Processo com (a) = 2 fatores x_1 e x_2 .

- $p = 2$ fatores na Figura (a) x_1 e $x_2 \rightarrow$ *fatores controláveis*
- Níveis = 2 (baixo e alto)



Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

Figura 7 - Desenhos Fatoriais para o Processo c/ (b) = 3 fatores x_1 , x_2 e x_3 .

- $p = 3$ fatores na Figura (a) x_1 , x_2 e $x_3 \rightarrow$ *fatores controláveis*
- Níveis = 2 (baixo e alto)
- $T =$ Valor-Alvo para variável de saída (y)

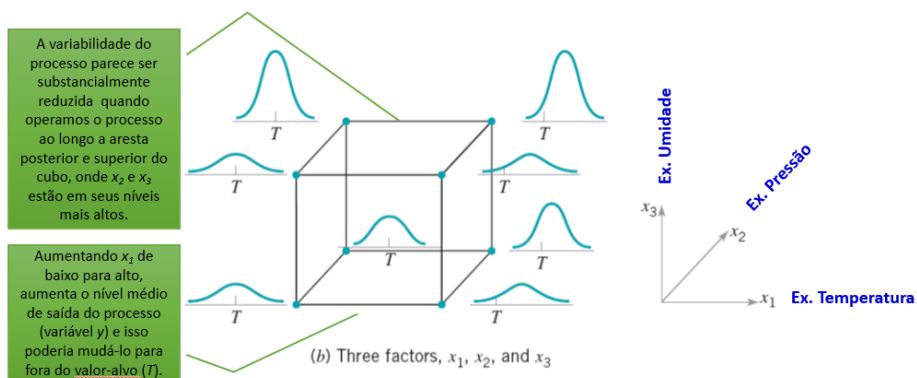


Figura: Desenhos Fatoriais para o Processo c/ (b) = 3 fatores x_1 , x_2 e x_3 .

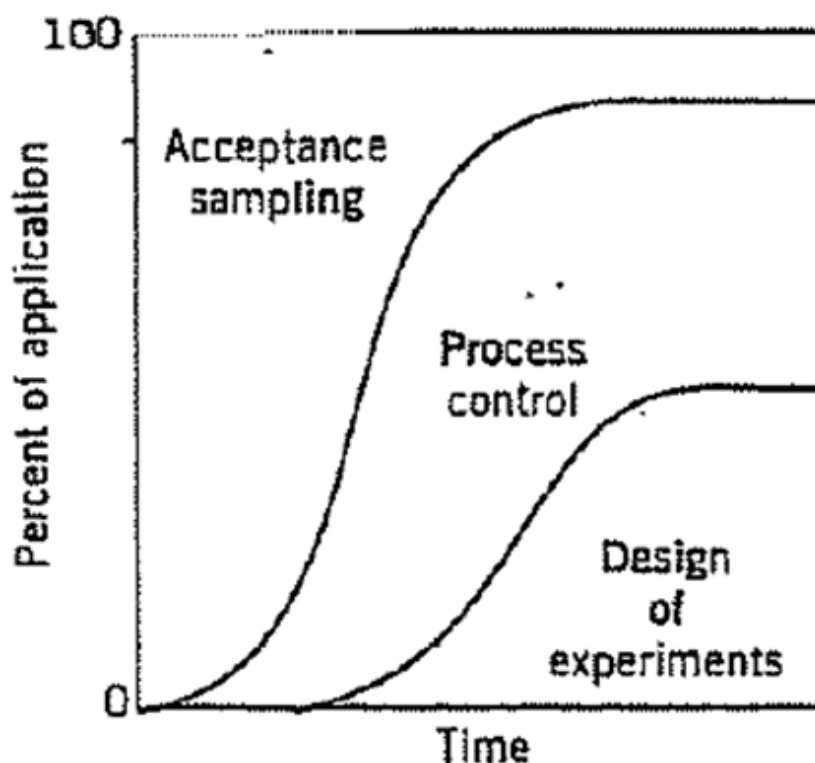
Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

Os experimentos planejados são uma importante ferramenta *off-line* de controle de qualidade, porque são usados, em geral, nas atividades de desenvolvimento e nos estágios iniciais da manufatura, e não como um procedimento *on-line* ou **durante o processo**. Esses experimentos desempenham um papel crucial na redução da variabilidade.

Uma vez que as variáveis importantes tenham sido identificadas e a natureza da relação entre elas e a saída do processo tenha sido quantificada, então uma técnica estatística *on-line* de controle de processo para o monitoramento e inspeção do mesmo pode ser usada com considerável eficiência. Técnicas tais como gráficos de controle podem ser usadas para monitorar a saída do processo e detectar quando são necessárias mudanças nas entradas para trazer o processo de volta a um estado sob controle. Os modelos que relacionam as entradas influentes às saídas do processo ajudam a determinar a natureza e a grandeza dos ajustes requeridos. Em muitos processos, uma vez entendida a natureza dinâmica das relações entre entrada e saídas, pode ser possível ajustar rotineiramente o processo, de modo que valores futuros das características do produto estarão aproximadamente no alvo. Esse ajuste de rotina é usualmente chamado **controle de engenharia, controle automático, ou controle de retroação**.

Os sistemas modernos de garantia da qualidade usualmente dão menos ênfase à amostragem de aceitação, e tentam fazer do controle estatístico do processo e do planejamento de experimentos o foco de seus esforços. A amostragem de aceitação tende a reforçar a noção de qualidade como “conformidade com especificações”, e não fornece qualquer informação seja para o processo de produção seja para a engenharia de planejamento e desenvolvimento, o que levaria, necessariamente, a uma melhoria da qualidade. Quanto ao uso das técnicas de engenharia da qualidade, pode-se dizer que há um processo de evolução típico. A figura 8 mostra um Diagrama de Fases do Uso de Métodos da Engenharia da Qualidade.

Figura 8 - Diagrama de Fases do Uso de Métodos da Engenharia da Qualidade



Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

Quanto ao uso das técnicas de engenharia da qualidade, pode-se dizer que há um processo de evolução típico. No nível mais baixo de maturidade, o gerenciamento pode desconhecer totalmente os problemas da qualidade, e provavelmente não haverá qualquer esforço efetivo de melhoria da qualidade. Frequentemente, haverá modestas aplicações dos métodos de amostragem de aceitação, usualmente por inspeção na recepção. Na medida em que aumenta a maturidade, a primeira atividade é intensificar o uso da inspeção por amostragem. O uso da amostragem crescerá até que se entenda que a qualidade não pode ser inspecionada ou testada no produto. A essa altura, a organização, usualmente, começa a enfatizar a melhoria do processo. O controle estatístico do processo e o planejamento experimental têm, potencialmente, maior impacto sobre a produção, atividades de desenho do produto e desenvolvimento do processo. A introdução sistemática desses métodos marca, usualmente, o início de melhorias substanciais da qualidade, custo e produtividade da organização. Nos níveis mais altos de maturidade, as

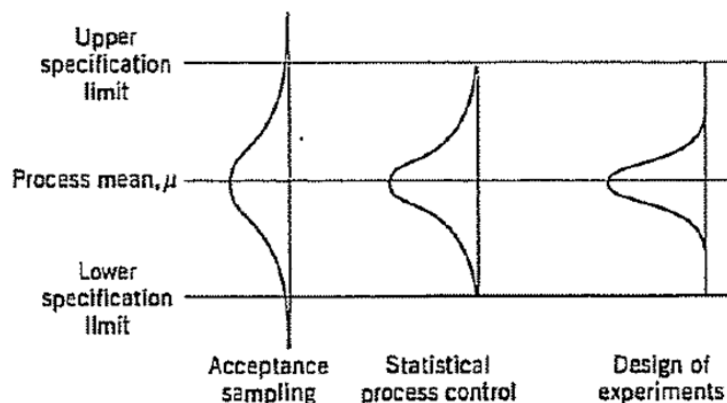
companhias usam os experimentos planejados e os métodos de controle estatístico do processo intensivamente, e fazem uso relativamente modesto da amostragem de aceitação.

O **objetivo** primeiro dos esforços da engenharia da qualidade é a **redução sistemática da variabilidade** nas características-chave da qualidade do produto. Isso funciona ao longo do tempo da seguinte forma:

- Nos estágios iniciais, quando a amostragem de aceitação é a principal técnica em uso, os “erros” do processo, ou unidades que não estão de acordo com as especificações, constituem uma alta porcentagem da saída do processo.
- A introdução do controle estatístico do processo estabilizará o processo e reduzirá a variabilidade. Entretanto, não é satisfatório apenas satisfazer as exigências – maior redução da variabilidade usualmente leva a um melhor desempenho do produto e a uma melhor posição de competitividade.
- Experimentos estatisticamente planejados podem ser empregados, conjuntamente com o controle estatístico do processo, para minimizar a variabilidade do processo em quase todos os ambientes industriais.

Como exemplo, a figura 9 mostra a aplicação de técnicas de engenharia da qualidade e a sistemática redução na variabilidade do processo.

Figura 9 - Aplicação de Técnicas de Engenharia da Qualidade e a Sistemática Redução na Variabilidade do Processo

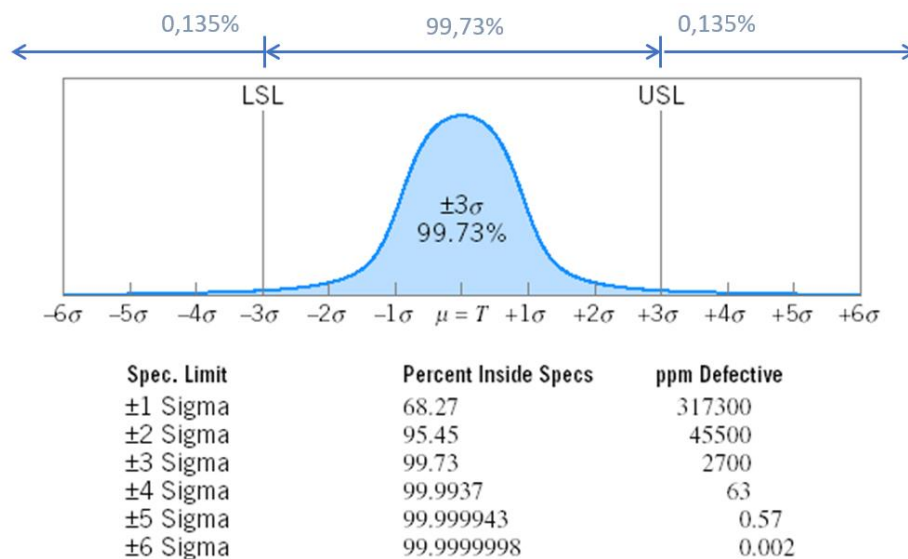


Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

O Programa Seis Sigma

Produtos de alta tecnologia com muitos componentes complexos têm, tipicamente, muitas oportunidades para falhas e defeitos. Nesse contexto, a Motorola desenvolveu seu Programa Seis Sigma, na década de 80, como resposta à demanda por esses produtos. O foco do Programa Seis Sigma está na redução da variabilidade nas principais características de qualidade do produto, ao nível do qual falhas e defeitos são extremamente improváveis. A figura 10 apresenta o conceito Seis Sigma da Motorola para uma distribuição normal centrada no Alvo (T).

Figura 10 - O Conceito Seis Sigma da Motorola – Distribuição Normal Centrada no Alvo (T)



(a) Normal distribution centered at the target (T)

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

A figura mostra uma distribuição de probabilidade normal como modelo para uma característica da qualidade, com os limites de especificação em três desvios padrão de cada lado da média. Nessa situação, a probabilidade de se produzir um produto dentro dessas especificações é de 0,9973, o que corresponde a 2.700 partes com defeitos por milhão (ppm) de oportunidades. Isto é conhecido como **desempenho de qualidade três sigma**, e parece, na verdade muito bom.

Desempenho de qualidade três sigma é realmente bom? Imagine que tenhamos um produto que consiste em um conjunto de 100 componentes ou partes e que todas essas 100 partes devem ser não-defeituosas para que o produto funcione satisfatoriamente. A probabilidade de uma unidade específica do produto ser não-defeituosa é:

$$0,9973 \times 0,9973 \times \dots \times 0,9973 = (0,9973)^{100} = 0,7631 \text{ ou } 76,3\%$$

Isto é, cerca de 23,7% dos produtos produzidos sob a qualidade três-sigma serão defeituosos. Esta não deveria ser uma situação aceitável, porque muitos dos produtos de alta tecnologia são feitos de milhares de componentes: um automóvel pode ter mais de 200.000 componentes e um avião, vários milhões. O quadro 1 resume a multiplicação de probabilidades em um acontecimento composto por vários eventos sucessivos e independentes.

Quadro 1 - Multiplicação de Probabilidades

MULTIPLICAÇÃO DE PROBABILIDADES:

Se um acontecimento é composto por vários eventos sucessivos e independentes de modo que:

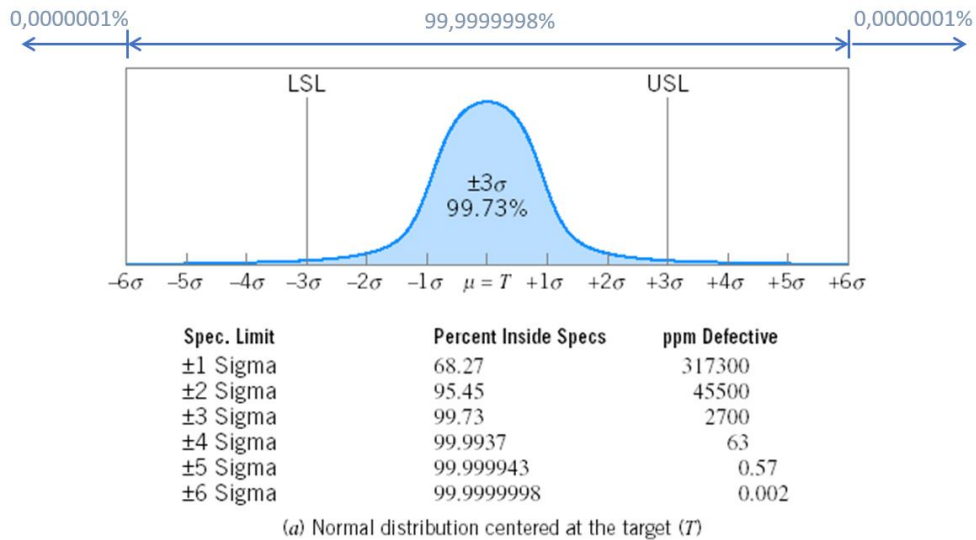
- O 1º evento é A e sua probabilidade é P(A);
- O 2º evento é B e sua probabilidade é P(B);
- O 3º evento é C e sua probabilidade é P(C);
- O n-ésimo evento é N e sua probabilidade é P(N), então a probabilidade de os eventos A, B, C e N ocorram nessa ordem é:
 $P = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C) \dots P(N)$

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

Dessa forma, o conceito Seis Sigma da Motorola é o de reduzir a variabilidade no processo de modo que os limites de especificação estejam a seis desvios padrão da média. Voltando ao gráfico, haverá apenas cerca de 2 partes por bilhão de defeituosos. Isso significa que sob a **qualidade seis sigma**, a probabilidade de que uma unidade específica do produto hipotético (100 componentes) é de 0,999999998 (99,9999998%), ou 0,002 ppm, uma situação muito melhor! É importante observar que esses valores são confiáveis mantendo a média do processo centrada no valor-alvo *T*. A figura 11 mostra mais um exemplo relativo ao conceito Seis Sigma da Motorola para uma distribuição normal centrada no Alvo (*T*).

Figura 11 - Conceito Seis Sigma da Motorola para uma distribuição normal centrada no

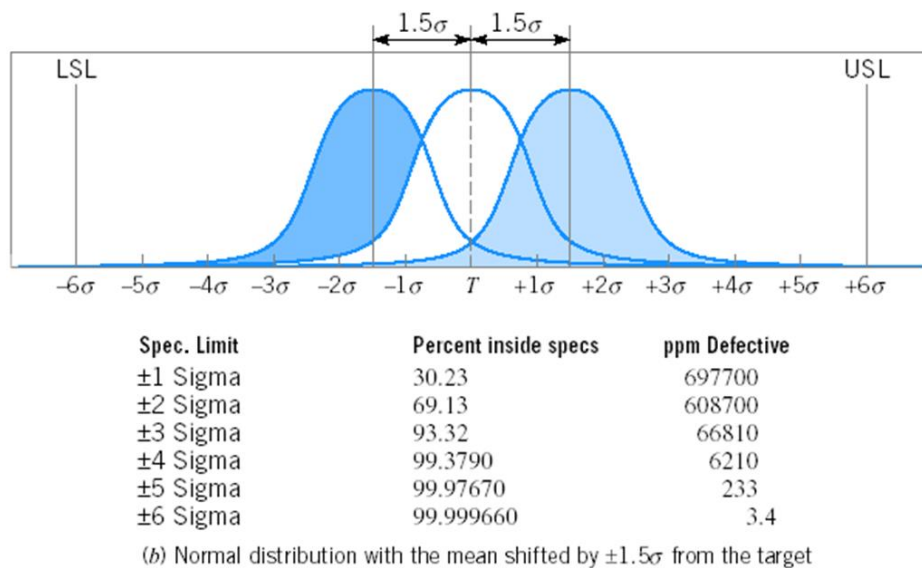
Alvo (T).



Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

Quando o conceito Seis Sigma foi inicialmente desenvolvido, fez-se uma suposição de que quando o processo alcançasse o nível de qualidade seis sigma, a média do processo estaria ainda sujeita a perturbações que poderiam fazer com que ela mudasse em até 1,5 desvio padrão para longe do alvo. Nesse cenário, o processo seis sigma produziria cerca de até 3,4 ppm de defeituosos. A figura 12 mostra mais o conceito Seis Sigma da Motorola para uma distribuição normal com uma média deslocada de $1,5\sigma$ do Alvo.

Figura 12 - Distribuição Normal Média Deslocada de $1,5\sigma$ do Alvo



Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

A Motorola estabeleceu o Seis-Sigma tanto como um objetivo para a corporação quanto um ponto central para os esforços de melhoria da qualidade do processo e do produto. Desde a década de 90, Seis-Sigma tem se espalhado além da Motorola e passou a abranger muito mais. Muitas pessoas, quando falam sobre o Seis-Sigma, associam o programa muito mais à General Electric, em função dos ganhos relatados com o Programa na época de Jack Welch do que com a Motorola, criadora do programa.

O Seis-Sigma tornou-se um programa para melhorar o desempenho dos negócios da empresa, tanto pela melhoria da qualidade, quanto pela redução de custos. As companhias envolvidas nos esforços Seis-Sigma utilizam equipes para trabalhar em projetos que tenham ambos qualidade e significativo impacto econômico. O esforço é melhor focalizado do que os programas anteriores do GQT, e tem sido mais bem-sucedido na obtenção do compromisso da gerência. Entretanto, é importante lembrarmos do ponto 10 de Deming, que diz, essencialmente, para eliminar slogans e programas para melhorar a qualidade. Deming estava certo; vimos vários programas, inclusive **zero defeito, engenharia de valor, qualidade é grátis, GQT** e outros. A maioria fracassou.

Um componente importante na melhoria da qualidade bem-sucedida é levar as ferramentas adequadas de estatística e de engenharia para os lugares certos na organização. “Programas com base na indústria nunca serão bem-sucedidos nisso – a formação em engenharia, ciência e gerência no nível da universidade tem que ter papel crítico”. A figura 13 resume os conceitos de Six Sigma.

Figura 13 - Six Sigma

What Is Six Sigma?

Globalization and instant access to information, products and services continue to change the way our customers conduct business.

Today's competitive environment leaves no room for error. We must delight our customers and relentlessly look for new ways to exceed their expectations. This is why Six Sigma Quality has become a part of our culture.

First, What is Six Sigma?

First, what it is not. It is not a secret society, a slogan or a cliché. Six Sigma is a highly disciplined process that helps us focus on developing and delivering near-perfect products and services.

Why "Sigma"? The word is a statistical term that measures how far a given process deviates from perfection. The central idea behind Six Sigma is that if you can measure how many "defects" you have in a process, you can systematically figure out how to eliminate them and get as close to "zero defects" as possible. To achieve Six Sigma Quality, a process must produce no more than 3.4 defects per million opportunities. An "opportunity" is defined as a chance for nonconformance, or not meeting the required specifications. This means we need to be nearly flawless in executing our key processes.

Key Concepts of Six Sigma

At its core, Six Sigma revolves around a few key concepts.

Critical to Quality:	Attributes most important to the customer
Defect:	Failing to deliver what the customer wants
Process Capability:	What your process can deliver
Variation:	What the customer sees and feels
Stable Operations:	Ensuring consistent, predictable processes to improve what the customer sees and feels
Design for Six Sigma:	Designing to meet customer needs and process capability

Fonte: <http://www.ge.com/en/company/companyinfo/quality/whatis.htm>

Outros Programas para a Melhoria do Sistema de Produção

Tem havido muitas outras iniciativas devotadas à melhoria do sistema de produção, exemplo:

- Reengenharia, *Downsizing*;
- *Just in Time*;
- *Lean Production* ou Manufatura Enxuta;
- Fabricação ágil;

- Entre outros.

A maioria desses “programas” devota muito pouco tempo à redução de variabilidade. É praticamente impossível reduzir o estoque durante o processo ou operar um sistema de produção com fornecimento sob medida (*just in time*), ágil ou enxuto quando uma grande e imprevisível parte da saída do processo é defeituosa. Tais esforços não atingirão seu potencial pleno sem que uma ênfase maior nos métodos estatísticos para a melhoria do processo e redução da variabilidade os acompanhe.

Referências

CROSBY, P. Completeness: Quality for the 21st Century. Plume, 1994 - Business & Economics - 251 pages.

DAHLGAARD, J. J.; KRISTENSEN, K.; KANJI, G. K. Fundamentals of Total Quality Management, Process analysis and improvement. Taylor & Francis Group, 2007.

DEMING, W.E. Out of Crisis. Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study.

FEIGENBAUM, A. V. Total Quality Control, 4th Ed.: Achieving Productivity, Market Penetration, and Advantage in the Global Economy. McGraw-Hill Professional, 2015.

GARVIN, D. A. What Does ‘Product Quality’ Really Mean? Sloan Management Review, Fall, 1984, p. 25-43.

GARVIN, D. A. Gerenciando a Qualidade: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Quality Mark Ed., 2002.

ISHIKAWA, K. Controle da qualidade total: à maneira japonesa. Editora: Campus, 1993.

JURAN, Joseph M. Juran’s Quality Handbook, Fifth Edition. McGraw-Hill International Editions: Industrial Engineering Series. USA. New York, 2000.

MONTGOMERY, D. C. Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

SELEME, Robson; STADLER, Humberto. Controle Da Qualidade, as Ferramentas Essenciais. Editora IBPEX Dialógica. 2ª Edição. Curitiba, 2012.

TURCHI, Lenita Maria. Qualidade Total: Afinal, de que Estamos Falando? In: Publicações. Texto para discussão, n° 459. IPEA Instituto de Pesquisa Econômica

Aplicada: Brasília, fev. 1997.
<http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_0459.pdf>.