

1

Importância da medição e da metrologia

Conteúdos do capítulo

- *Conceito de variação ou desvio-padrão de um processo.*
- *Os dois elementos que compõem o desvio-padrão de um processo.*
- *Como calcular a média e o desvio-padrão de um conjunto de dados representativos de um processo.*
- *A importância da qualidade dos dados representativos de um processo.*
- *A importância da adequação e da melhoria de um sistema de medição.*
- *As etapas gerais de uma cadeia de produção em que os sistemas de medição são críticos.*
- *O aumento da importância dos sistemas de medição, segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro).*

Após o estudo deste capítulo, você será capaz de:

1. *entender os conceitos de variação e desvio-padrão de um processo;*
2. *saber calcular a média e o desvio-padrão de um conjunto de dados;*
3. *interpretar os dois principais elementos que compõem o valor numérico de um desvio-padrão;*
4. *identificar as etapas de uma cadeia de produção em que a medição é crítica e as implicações de deficiências nesse sistema de medição;*
5. *entender a importância dos sistemas de medição na sociedade atual.*

O conceito de qualidade de um produto possui inúmeros significados possíveis, como o grau de conformidade entre os produtos reais e sua especificação de projeto. No caso de uma produção seriada, repetitiva, uma das medidas mais importantes para a avaliação da conformidade e da capacidade de um processo é o desvio-padrão do processo.

O valor numérico do desvio-padrão observado para uma determinada característica de qualidade de uma quantidade de peças manufaturadas (como o diâmetro de um eixo mecânico) consiste na composição entre:

- o desvio real da peça (produto), associado às diferenças reais entre os diâmetros dessa quantidade de peças;
- o desvio devido a erros inerentes ao sistema de medição utilizado para obtenção dos valores das medidas das peças reais. Simplificadamente, o desvio em razão do sistema de medição está relacionado à repetitividade, isto é, à variabilidade inerente aos equipamentos ou instrumentos de medição (um paquímetro, por exemplo), e à reprodutibilidade, que é a variabilidade inerente às pessoas que realizam a medição. Veja o exemplo a seguir para entender melhor esse conceito.

Suponhamos que há uma amostra de 30 peças usinadas por uma determinada máquina. Uma característica importante dessa peça é o seu diâmetro externo. Os diâmetros das 30 peças foram medidos observando-se os seguintes valores em milímetros:

Tabela 1.1 – Valores dos diâmetros das peças

10,01	10,03	10,02	10,00	9,99	10,01
10,02	9,98	10,00	10,01	9,98	10,02
9,97	9,99	10,00	10,02	10,00	9,98
9,98	10,01	10,02	10,01	10,00	9,97
10,02	10,01	10,01	10,00	9,99	10,04

Para a medição dos diâmetros, foi utilizado um paquímetro com resolução de leitura de 0,01 mm, e cada conjunto de 10 peças foi medido por um inspetor diferente.

A média dos diâmetros mensurados é dada pela equação:

$$\bar{x} = \frac{(\sum X_i)}{n}$$

Assim, a média dos 30 valores é:

10,003

E o desvio-padrão é dado pela equação:

$$s = \left[\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)} \right]^{1/2}$$

O valor do desvio-padrão – uma estimativa da variabilidade dos valores das 30 medições – é:

0,017646

Desse valor total do desvio-padrão:

- uma parcela (por exemplo, 65%) poderia ser devido à variação real entre as peças, que seria explicada pela variabilidade inerente ao processo que manufaturou essas peças;
- uma outra parcela (por exemplo, os 35% restantes do valor total do desvio-padrão) seria devido à variabilidade inerente ao sistema de medição.

Nesse caso, o sistema de medição envolveria, pelo menos, os seguintes fatores:

- o paquímetro utilizado;
- os inspetores que fizeram as medições; e
- o método e o procedimento utilizado para fazer as medições.

A parcela de 35% do valor total do desvio-padrão, por sua vez, poderia ser decomposta, de forma simplificada, em duas partes: repetitividade e reprodutibilidade. Quanto menor a parcela da variabilidade gerada pelo sistema de medição, melhor é a qualidade desse sistema, pois a variabilidade observada nos valores medidos se aproximaria mais do valor da variabilidade inerente ao processo de manufatura. Afinal, o que se quer conhecer e controlar é a efetiva variabilidade do processo utilizado para manufaturar essa peça.

Assim, se substituíssemos esse sistema de medição por outro ou se fizéssemos melhorias nele de tal forma que a parcela de variabilidade devida ao sistema de

medição passasse a ser de 20%, então esse novo sistema seria melhor em relação ao anterior, para o qual essa parcela representava 35% (esse tipo de análise e estudo será visto mais detalhadamente no Capítulo 8 desta obra).

Observa-se que os dados coletados para análise de um processo são de extrema importância, uma vez que a imprecisão dessas informações pode resultar em decisões incorretas sobre o produto e o processo, aumento dos custos de produção, retrabalhos e custos desnecessários referentes à má qualidade.

No caso de uma peça estar conforme às especificações, mas o sistema de medição indicar, erroneamente, que está fora delas, ela seria equivocadamente refugada ou retrabalhada. Além disso, poderia ser providenciada uma correção ou um ajuste desnecessários no processo, gerando problemas e perdas maiores.

Outro risco que se corre com o uso de um sistema de medição de má qualidade é a situação contrária, de se considerar, pela medição, que o produto está de acordo com as especificações, sendo que, na realidade, ele está não conforme.

Nessa situação, a não conformidade existente poderá ser identificada apenas no futuro:

- pelo cliente, quando o produto já tiver sido distribuído ou em uso no mercado;
- por um organismo de regulamentação oficial, como o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM), o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e o Sistema de Inspeção Federal (SIF).

A consequência dessa não identificação das não conformidades no produto por falhas no sistema de medição pode ser manifestada em gastos para a empresa, com a substituição de lotes de produtos distribuídos e *recalls*^{*}, além de eventual desgaste da imagem e da marca da organização.

* *Recall* é o procedimento no qual uma empresa, por obrigação legal ou por estratégia própria, comunica ao mercado e realiza substituição (troca) ou reparos no produto fornecido para torná-lo conforme as especificações e adequado ao uso. É aplicado principalmente nos casos em que a falta de qualidade, observada após o produto ter sido enviado ao mercado, afeta questões de segurança à vida e ao meio ambiente.

1.1 Confiabilidade e qualidade de um sistema de medição

Para garantir que sejam obtidas informações confiáveis, é fundamental a adequação (compatibilidade entre a capacidade do sistema de medição e o objeto que está sendo medido) e a melhoria do sistema de medição, reduzindo, ao longo do tempo, a variação devida ao sistema de medição, de modo que os erros originados desse sistema (introduzidos inadvertidamente pelos operadores que fazem a medição e pelos próprios instrumentos de medição utilizados, por exemplo) sejam minimizados.

Compreendem esse sistema as pessoas, os instrumentos, os equipamentos, os dispositivos, os locais de medição, os métodos utilizados e as condições do ambiente de medição.

Assim, muitas determinações sobre a qualidade dos produtos e processos em diversas instâncias da empresa e da sociedade ou mercado dependem de informações advindas da realização de inspeções e ensaios. A má qualidade dessas informações, por imprecisão ou falta de exatidão, implica em decisões equivocadas sobre o produto e o processo em análise. A liberação (aprovação ou rejeição) de um lote de produtos realizada com base na análise e na escolha dos itens depende dos resultados de um sistema de medição.

Algumas decisões sobre o projeto de um novo produto durante o seu desenvolvimento, como as especificações de materiais e de tolerâncias dimensionais e de desempenho funcional, são tomadas após a realização de testes funcionais, em que um conjunto de parâmetros sobre características da qualidade do produto (como a pureza de um material, o diâmetro de um eixo mecânico, a resistência física de uma embalagem de produto, o comprimento de uma peça, a dureza de um material, a rugosidade de uma superfície, um ângulo entre duas faces de uma peça etc.) é medido, armazenado e analisado por engenheiros e técnicos.

Há também situações de problemas devido a resultados imprecisos decorrentes da inadequação e da falta de padrão dos meios ou métodos de medição utilizados para se avaliar um produto ou processo. É o caso, por exemplo, de decisões incorretas sobre a aceitação de lotes de materiais ou de itens comprados que geram conflitos entre o fornecedor e o comprador, comprometendo os prazos de

entrega, os pagamentos e a qualidade do produto final. As decisões com base na inspeção de lotes, realizadas pelo fornecedor e pelo cliente, podem ser conflitantes por estarem fundamentadas em critérios e procedimentos diferentes.

Outra etapa na cadeia de produção em que o sistema de medição é crítico ocorre durante a produção propriamente dita. Inspeções são realizadas para verificar, por meio dos dados observados, se o processo está sob controle ou não, e, dependendo dos resultados, decide-se se a produção deve continuar normalmente, ser interrompida e ou se alguma ação corretiva deve ser tomada. Essas decisões também podem ser equivocadas, com implicações em perdas de recursos, prazos e clientes.

A qualidade dos dados obtidos por meio de um sistema de medição pode ser avaliada por parâmetros estatísticos, como as medidas de tendência central (a média), e as medidas de dispersão, como o desvio-padrão ou a amplitude de um conjunto de resultados da medição de um mesmo objeto (uma mesma peça mecânica, por exemplo).

Resumidamente, um sistema de medição é considerado de melhor qualidade em relação a outro quando a medida de tendência central (média) do primeiro estiver mais próxima do padrão de referência que o segundo, e a dispersão (o desvio-padrão) for inferior.

Na prática, isso significa que as medições realizadas pelo sistema relativamente melhor se aproximariam do verdadeiro valor medido (ou valor de referência aceito ou definido), e o desvio-padrão – um indicador das diferenças entre os valores dessas medidas – seria um valor baixo se aproximando idealmente de zero.

Segundo o Inmetro (2013b), a importância da metrologia no Brasil e no mundo cresceu significativamente nos últimos anos, em razão, principalmente, dos seguintes fatores:

- elevada complexidade e sofisticação dos modernos processos industriais, intensivos em tecnologia e comprometidos com a qualidade e a competitividade, os quais requerem medições de alto refinamento e confiabilidade para um grande número de grandezas;
- busca constante por inovação, como exigência permanente e crescente do setor produtivo do país para competitividade, propiciando o desenvolvimento de novos e melhores processos e produtos. Considera-se que medições confiáveis podem levar a melhorias de qualidade, bem como a novas tecnologias, importantes fatores de inovação;

- crescente consciência da cidadania e reconhecimento dos direitos do consumidor e do cidadão, amparados por leis e regulamentos que asseguram o acesso a informações mais fidedignas e transparentes, com foco voltado para a saúde, a segurança e o meio ambiente, o que requer medidas confiáveis em novas e complexas áreas, especialmente no campo da química e da biologia, bem como dos materiais em que a nanometrologia tem papel transcendente;
- irreversível estabelecimento da globalização nas relações comerciais e nos sistemas produtivos de todo o mundo, potencializando a demanda pela aplicação da metrologia em virtude da grande necessidade de harmonização nas relações de troca, atualmente muito mais intensas, complexas e envolvendo um grande número de grandezas a serem medidas com incertezas cada vez menores e com maior credibilidade, a fim de superar as barreiras técnicas ao comércio. No Brasil, especificamente, a entrada em operação das Agências Reguladoras (por exemplo: a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, que dentre outras funções regulamenta e coordena a qualidade dos diversos serviços de energia elétrica no país, e a Agência Nacional do Petróleo – ANP) intensificou excessivamente essa demanda em áreas que antes não necessitavam de grande rigor, exatidão e imparcialidade nas medições, como em alta tensão elétrica, telecomunicações, grandes vazões e grandes volumes de fluidos;
- aumento da preocupação com o meio ambiente e a consequente necessidade de medir e avaliar o impacto ambiental de produtos e processos.

Ainda segundo o Inmetro (2013b), essa crescente importância da metrologia gerou demandas de desenvolvimento em novas áreas, como a metrologia química, a metrologia de materiais, a metrologia de telecomunicações e a metrologia no vasto campo da saúde, bem como a implantação de melhorias técnicas em áreas tradicionais, como a introdução de padrões quânticos (efeito Josephson e efeito Hall quântico) e adaptações estruturais do sistema metrológico, tanto em nível nacional como internacional.

■ Síntese

Neste capítulo, vimos que o desvio-padrão observado para uma determinada característica de qualidade de uma quantidade de peças (por exemplo, o diâmetro de um eixo mecânico) é uma composição entre o desvio real da peça, associado a diferenças entre os diâmetros das peças, e o desvio devido a erros inerentes ao sistema de medição utilizado para obtenção dos valores das medidas.

Verificamos também que quanto menor a parcela da variabilidade gerada pelo sistema de medição melhor será a qualidade desse sistema, pois a variabilidade observada nos valores medidos se aproxima mais do valor da variabilidade inerente ao processo de manufatura. Os dados coletados para análise de um processo são de extrema importância, uma vez que a má qualidade dessas informações pode resultar em decisões erradas sobre o produto e o processo, além de aumentos de custos de produção, retrabalhos e custos da não qualidade. Ressaltamos ainda que, para garantir que se tenham informações confiáveis, é fundamental a adequação e a melhoria do sistema de medição, de modo que os erros originados desse sistema sejam minimizados.

■ Questões para revisão

1. Quais são os dois elementos que compõem o valor numérico do desvio-padrão observado para uma característica de qualidade obtida em um processo de manufatura?
2. Comente sobre as principais implicações de inadequações (falhas) em sistemas de medição nas seguintes etapas de uma cadeia de produção:
 - a. Processo de desenvolvimento de novos produtos.
 - b. Recebimento de lotes de materiais e insumos de fornecedores.
 - c. Manufatura (produção).
3. O desvio em razão de erros inerentes a um sistema de medição é explicado:
 - a. exclusivamente pelos erros de repetitividade do sistema de medição.
 - b. exclusivamente pelos erros de reprodutibilidade do sistema de medição.
 - c. pelos erros de repetitividade e pelos erros de reprodutibilidade.
 - d. pelo desvio-padrão inerente ao processo de produção.
 - e. pelos valores da média e do desvio-padrão do processo de produção.
4. É desejável que a parcela de variabilidade devida a um sistema de medição seja:
 - a. aproximadamente igual ao valor da variabilidade inerente ao processo de produção.
 - b. inferior ao valor da variabilidade do processo de produção.
 - c. maior que a variabilidade do processo de produção.

- d. significativamente menor que a variabilidade do processo de produção.
 - e. menor que o erro de repetitividade.
5. Conhecer a qualidade de um sistema de medição e de um processo é importante, pois:
- a. reduz a ocorrência de erros na tomada de decisões sobre o processo de manufatura.
 - b. aumenta a confiança dos fornecedores da empresa.
 - c. aumenta a confiança nos funcionários que atuam nesse processo de manufatura.
 - d. aumenta a confiança nos funcionários que atuam no sistema de medição.
 - e. aumenta a confiança dos clientes.

■ Questões para reflexão

1. Discuta com os seus colegas e estabeleça possíveis relações de causa e efeito entre "falhas/deficiências de um sistema de medição de produtos em manufatura", "índices de *recalls* de produtos" e "custos para a empresa devido a problemas de qualidade".
2. Quais seriam as principais implicações em termos de custos incorridos, riscos de acidente etc. para a sua vida diária caso os sistemas de medição adotados nos setores industrial e de comércio não fossem confiáveis? Dê exemplos de perdas que você poderia ter no dia a dia ocasionadas por falhas nesses sistemas de medição.
3. Faça, juntamente com seus colegas, uma lista do que você considera ser os principais fatores (ou variáveis) que interferem na qualidade de dados obtidos de processos industriais, que são usados como base para a tomada de decisões para aprovação de lotes de produtos antes de serem enviados pela empresa ao mercado.