

CAPÍTULO 7

CONTROLE DE QUALIDADE

Uma das operações mais importantes da metrologia industrial é o controle de qualidade. As partes ou produtos devem ser produzidos de forma a atenderem, individualmente e em conjunto, certas especificações do processo conhecidas como *tolerâncias*. O controle de qualidade envolve um conjunto de operações de medição desenhado para assegurar que apenas as peças e produtos que atendem as tolerâncias sejam comercializados, preservando a qualidade de produtos e o nome da empresa.

Entretanto fica uma pergunta no ar: se não existem sistemas de medição perfeitos, como é possível assegurar através de medições que todos os produtos comercializados atendem a tolerância? Este assunto será tratado neste capítulo.

7.1 Tolerância

Normalmente no dia-a-dia o ser humano lida com muita naturalidade com imperfeições de vários tipos: As maçãs não são esféricas e freqüentemente apresentam pequenas manchas na casca, mas podem ser muito saborosas. Ao olhar com muita atenção, é possível perceber pequenas falhas mesmo na pintura de um carro novo. Há pequenos defeitos no reboco das paredes de uma casa. O asfalto da via expressa apresenta ondulações. Um microscópio pode revelar pequenas falhas na roupa que usamos. Até uma certa quantidade de microorganismos são aceitáveis na água que bebemos. Não é possível evitar estas imperfeições. Elas são naturais.

Da mesma forma, quando são produzidas peças e produtos, imperfeições estão presentes. O cuidado que deve ser tomado é manter as imperfeições dentro de faixas toleráveis, que não comprometam a função da peça ou produto. Por exemplo, o diâmetro de um cabo de vassoura tipicamente é de 22 mm. Entretanto, se um cabo de vassoura possuir 23 mm de diâmetro, para o consumidor final sua função não será comprometida. É igualmente confortável e aceitável varrer com uma vassoura com cabo de 21 ou 23 mm de diâmetro. Não seria aceitável um cabo com 5 mm ou 50 mm de diâmetro, mas qualquer diâmetro dentro da faixa de (22 ± 1) mm seria aceitável para o consumidor final. Assim, a faixa (22 ± 1) mm constitui a tolerância para o diâmetro do cabo da vassoura considerando o consumidor final.

Além de ser levada em conta a função para a qual a parte ou o produto foi desenhada, outros aspectos ligados à engenharia de produção devem ser considerados. Por exemplo, o cabo da vassoura deve ser montado em sua base de forma firme, sem folgas. Portanto, deve haver uma relação bem definida entre os diâmetros do cabo e do furo da base da vassoura para que o conjunto, ao ser montado, permita uma fixação firme, sem folgas, mas também sem gerar uma condição de ajuste demasiadamente apertado. Assim, tolerâncias mais estreitas devem ser estabelecidas para estes diâmetros de forma que a sua montagem sempre se dê de forma adequada.

Por outro lado, tolerâncias demasiadamente estreitas envolvem processos de fabricação mais caros. A produção de cabos de vassoura com diâmetro de $(22,000 \pm 0,001)$ mm seria caríssima, inviável. Os projetistas então definem para cada parte as maiores tolerâncias possíveis mas que ainda preservem a função e a capacidade de montagem da parte no conjunto.

Especificações na forma de tolerâncias podem ser estabelecidas por motivos comerciais. Por exemplo, ao comprar um saco de 500 g de café moído, o consumidor espera levar para casa 500 g de café. A máquina automática que ensaca café não é perfeita. Pode produzir sacos com um pouco mais ou um pouco menos que 500 g. É algo natural. Os órgãos de fiscalização estabelecem então um limite: por exemplo se o conteúdo de cada saco de café for mantido dentro do limite (500 ± 10) g, a pequena diferença, ora para mais, ora para menos, será aceitável para o consumidor final. Nenhuma das partes estaria sendo lesada. Outro exemplo é a tensão da rede de energia elétrica quando mantida, por exemplo, dentro do patamar (220 ± 11) V.

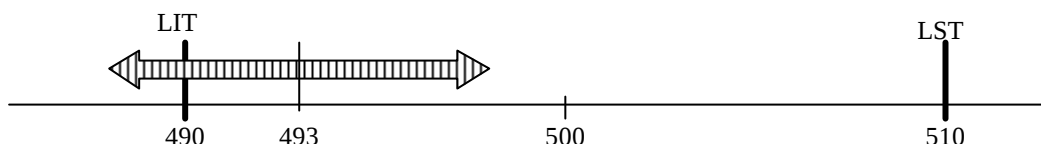
7.2 O Controle de Qualidade

O papel do controle de qualidade é medir a peça produzida, comparar o resultado com a respectiva tolerância e classificar a peça como aprovada, quando obedece a tolerância, ou rejeitada, caso contrário. Entretanto, qualquer SM apresenta erros, produzindo resultados com incertezas. Como usar informações obtidas a partir de SM imperfeitos para tomar decisões seguras sobre a aceitação ou não de peças?

Seja, por exemplo, um balança usada para medir a massa líquida de um saco de café que deveria obedecer a tolerância de (500 ± 10) g. Suponha que suas características metrológicas sejam tais que produzam resultados com incerteza de medição de ± 5 g. Suponha ainda que a massa líquida de café de um determinado saco seja medida e o seguinte resultado tenha sido encontrado:

$$RM = (493 \pm 5) \text{ g}$$

É possível afirmar que este saco, em particular, atende à tolerância? A análise desta questão é melhor realizada com o auxílio da figura abaixo:



Os limites inferior (LIT) e superior (LST) da tolerância estão representados na figura. Sacos cuja massa líquida que estejam dentro destes limites são considerados aceitos. O resultado da medição (493 ± 5) g está representado na figura. É possível notar que este resultado representa uma faixa de valores que contém uma parte dentro do intervalo de tolerâncias e outra fora. Assim, nestas condições, não é possível afirmar com segurança que este saco atende ou não atende a tolerância. Isto se dá em função da escolha inapropriada do sistema e/ou procedimento de medição. É recomendável que a incerteza da medição não exceda uma certa fração do intervalo de tolerância.

Do ponto de vista metrológico, quanto menor a incerteza do sistema de medição usado para verificar uma dada tolerância, melhor. Na prática, o preço deste sistema de medição pode se tornar proibitivo. Procura-se então atingir um ponto de equilíbrio técnico-econômico.

Seja IT o intervalo (ou faixa) de tolerância desejável para a grandeza mensurável, dado por:

$$IT = LST - LIT \quad (7.1)$$

sendo

IT	intervalo de tolerância
LST	limite superior da tolerância
LIT	limite inferior da tolerância

A experiência prática mostra que um ponto de equilíbrio razoável é atingido quando a incerteza de medição é da ordem de um décimo do intervalo de tolerância, ou seja:

$$IM = \frac{IT}{10} \quad (7.2)$$

Seguindo esta relação, a incerteza de medição do processo de medição adequado para controlar a tolerância (500 ± 10) g deveria resultar em incerteza de medição da ordem de:

$$IM = (510 - 490)/10 = 2 \text{ g}$$

De fato, se o resultado da medição obtido fosse (493 ± 2) g seria possível afirmar, com segurança, que a tolerância foi obedecida. A faixa de valores correspondente ao resultado da medição estaria toda dentro da faixa de tolerâncias.

Mesmo obedecendo a relação estabelecida pela equação (7.2), ainda restarão casos onde não será possível afirmar, com 100% de segurança, que uma peça está ou não dentro do intervalo de tolerância. Ainda no exemplo do saco de cimento, se o RM fosse (491 ± 2) g, haveria dúvida. Assim, é possível caracterizar os três tipos de zonas representadas na figura 7.1: a zona de conformidade, as zonas de não conformidade e as zonas de dúvida:

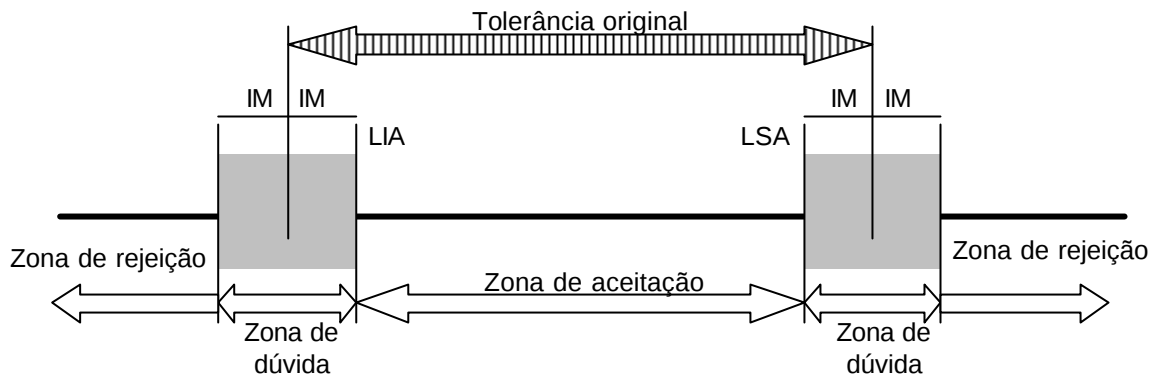


Figura 7.1 – Zonas de aceitação, de rejeição e de dúvida ao verificar-se uma tolerância.

Sejam LIT e LST os limites inferior e superior da tolerância respectivamente. Se o processo de medição fosse perfeito, resultando em incerteza de medição nula, a tolerância seria obedecida se o resultado base estivesse dentro do intervalo: $LIT \leq RB \leq LST$. Porém, em função da incerteza da medição, surgem zonas de dúvidas, isto é, regiões onde parte da faixa de valores correspondente ao resultado da medição estaria dentro e parte estaria fora da tolerância. Só é possível afirmar que a peça atende a tolerância se estiver dentro da denominada zona de aceitação (ou zona de conformidade), representada na figura 7.1. Note que a zona de aceitação é menor que a tolerância original de um valor correspondente a duas vezes a incerteza de medição. Novos limites, denominados de “limites de aceitação” são então definidos os seguintes limites:

$$\begin{aligned} LIA &= LIT + IM \\ LSA &= LST - IM \end{aligned} \quad (7.3)$$

sendo

LIA	limite inferior de aceitação
LSA	limite superior de aceitação
LIT	limite inferior de tolerância
LST	limite superior de tolerância
IM	incerteza da medição

Os limites de aceitação são usados para classificar se peças estão dentro da tolerância. Se a relação:

$$LIA \leq RB \leq LSA \quad (7.4)$$

for obedecida, a parte medida será considerada aceita, isto é, em conformidade com a tolerância. Se não obedece à condição, mas está dentro da faixa de dúvida (cinza na figura) não é possível afirmar, com este sistema de medição, que se trata de uma peça dentro ou fora da especificação e, conseqüentemente, não pode ser comercializada. Se estiver na zona de rejeição, é possível afirmar com segurança que está fora da especificação estabelecida pela tolerância.

Em um processo de fabricação bem balanceado, são poucos os produtos não conformes. O número de peças duvidosas será pequeno, não sendo este um grande problema. Porém, se necessário, as peças duvidosas podem vir a ser novamente inspecionadas por um outro processo de medição com menor incerteza com o qual será possível classificar corretamente algumas peças adicionais, porém, ainda restarão peças duvidosas.

Na indústria, por questões de praticidade e economia de tempo, não é raro efetuar uma única medição, sem compensar os erros sistemáticos, para decidir se uma peça está ou não dentro da tolerância. As relações

(7.2), (7.3) e (7.4) continuam válidas, mas, neste caso, a incerteza da medição deve ser estimada para estas condições de medição.

7.3 Exemplo resolvido

Especifique as características necessárias a um sistema de medição apropriado para classificar o diâmetro de cabos de vassouras que devem obedecer a tolerância $(22,0 \pm 0,2)$ mm. Defina também os critérios de aceitação das peças medidas.

Solução

A tolerância de $(22,0 \pm 0,3)$ mm possui um intervalo de tolerâncias dado por:

$$IT = 22,3 - 21,7 = 0,6 \text{ mm}$$

Logo, seria conveniente especificar um processo de medição que resultasse em uma incerteza de 0,06 mm. Para facilitar a vida do operador, um paquímetro digital, com erro máximo de 0,05 mm, poderia ser usado. Neste caso, sem compensar erros sistemáticos, a incerteza de medição seria o próprio erro máximo do paquímetro, ou seja, $IM = 0,05$ mm.

Os limites de aceitação seriam:

$$LIA = 21,70 + 0,05 = 21,75 \text{ mm}$$

$$LSA = 22,30 - 0,05 = 22,25 \text{ mm}$$

Assim, o procedimento de classificação seria:

- (a) Medir uma vez o diâmetro,
- (b) Aceitar a peça se a indicação estiver dentro do intervalo: $21,75 \leq I \leq 22,25$ mm

Problemas propostos

1. A polia de um motor de toca-discos deve possuir dimensões dentro da tolerância de $(15,00 \pm 0,02)$ mm. Especifique as características necessárias a um processo de medição adequado para classificar as peças disponíveis como dentro ou fora da tolerância e os limites de controle.
2. Quantifique os limites para as zonas de conformidade, de não conformidade e de dúvida para a tolerância $(6,00 \pm 0,01)$ mm quando:
 - a) é usado um sistema de medição que obedece a equação $U = IT/10$
 - b) é usado um sistema de medição que obedece a equação $U = IT/5$