



Melhoria de Processo

Capacidade de processo:

Consiste em analisar a variabilidade em relação as exigências ou especificação do processo, tentando eliminar ou reduzir esta variabilidade.

Planejamento fatorial:

Identifica-se quais as variáveis que causam efeitos indesejados e melhora-se o processo medindo estes efeitos.

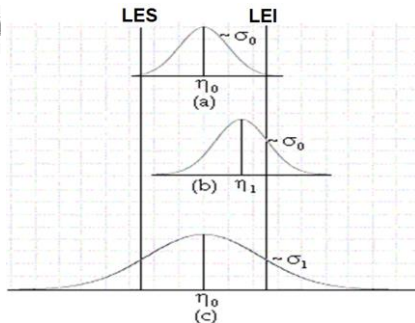


Capacidade de Processo

Normalmente, deseja-se controlar, em uma determinada característica de um produto (variável), a qualidade média e a sua variabilidade.

Isso é feito usualmente através das cartas de controle \bar{x} e R.

A figura da próxima transparência ilustra o que foi dito



(a) Média e desvio padrão em níveis nominais

(b) Média do Processo $\eta_1 > \eta_0$

(c) Desvio padrão do processo $\sigma_1 > \sigma_0$



Capacidade de Processo

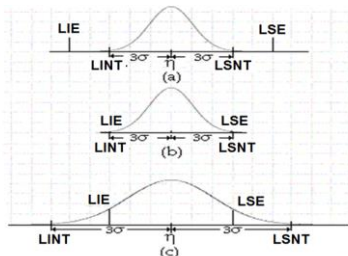
Considere uma variável que se distribui como uma normal com média η e variância σ^2 .

- Se $\sigma^2 \leq \sigma_0^2$, então o espalhamento natural inerente ao processo estará dentro do requerido, isto é, toda produção estará conforme as especificações;
- Se $\sigma^2 \geq \sigma_0^2$ então o espalhamento natural do processo excede os limites de especificação, o que resulta em alta porcentagem da produção não conforme.

Logo, a capacidade do processo está diretamente associada com a variabilidade



Capacidade de Processo



(a) $C_p > 1$, o processo consome muito menos que a faixa de especificação

(b) $C_p = 1$, o processo consome 100% da faixa de especificação

(c) $C_p < 1$, o processo consome muito mais do que a faixa de especificação



Capacidade de Processo

- As cartas de controle são esquemas muito importantes usados para detectar causas especiais em processos, por meio de informação diagnóstica da análise do padrão de distribuição dos pontos;

- A partir das cartas de controle pode-se estimar certos parâmetros importantes tais como: média desvio padrão, fração de não-conformidade; etc. que são importantes para estimativa da capacidade do processo produzir produtos aceitáveis.



Capacidade de Processo

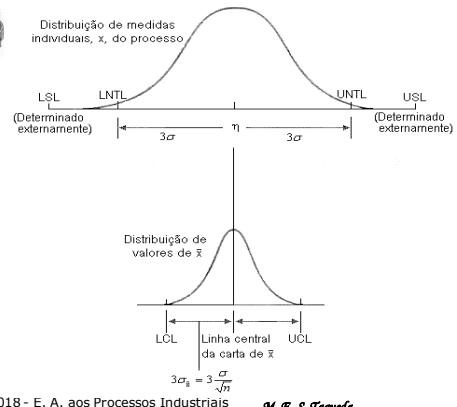
- Limites de Especificação no processo (Specification Limits), LIE e LSE (determinados externamente);
- Limites Natural de Tolerância (Natural Tolerance Limits), LINT e LSNT dados por 3σ (determinados pela variabilidade natural do processo); e,
- Limites de Controle (Control Limits), CSL e LIC das cartas \bar{x} e R, dados por:

$$3\sigma_{\bar{x}} = 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

7



EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

8



Capacidade de Processo

O estudo de capacidade de processo tem um forte impacto:

- ❑ nas decisões gerenciais;
- ❑ em problemas que ocorrem no ciclo do produto;
- ❑ na melhoria do processo (por redução da variabilidade); e,
- ❑ em acordos com clientes ou vendedores (quanto a qualidade do produto).

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

9



Capacidade de Processo

A capacidade de processo refere-se a uniformidade do processo, ou seja:

A variabilidade no processo é uma medida da uniformidade na saída

Pensa-se nesta variabilidade de duas maneiras:

- ❑ Variabilidade natural ou inerente em um tempo especificado (variabilidade instantânea); ou
- ❑ Variabilidade em função do tempo

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

10



Capacidade de Processo

Em geral, toma-se como espalhamento do processo 6σ (na distribuição da qualidade do produto que está sendo examinada) como uma medida de capacidade do processo.

Para uma distribuição normal os limites de tolerância naturais incluem 99,73% da variável. Portanto, 0,27% é considerado fora dos LNT.

A figura a seguir ilustra melhor

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

11



Capacidade de Processo

Capacidade de Processo chamado de PCR (process capability ratio) ou mesmo C_p , é dado por:

$$PCR = C_p = \frac{\text{Largura dos limites de especificação}}{\text{Variabilidade do processo}} = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Como σ é usualmente desconhecido, deve-se substituí-lo por sua estimativa, $\hat{\sigma}$ ou s

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

12

Notação	Definição	Definição
UCL – Upper Control Limit	$\bar{\bar{x}}$ – média das medidas	
LSC – Limite de controle superior	$\bar{\bar{x}}$ – média das médias	
LCL – Lower Control Limit	R – Range	
LIC – Limite de controle inferior	\bar{R} – média dos Ranges	
CL – Center Line	USL – Upper Specification Limit	
LC – Linha central	LSE – Limite Superior de Especificação	
n – Tamanho da amostra	LSL – Lower Specification Limit	
Cp – Process Capability, ou Capacidade do processo	LIE – Limite Inferior de Especificação	
σ – Desvio padrão das medidas		

Dados Variáveis (Cartas de controle \bar{x} e R)					
n	A ₂	D ₃	D ₄	d ₂	
2	1,880	0,000	3,267	1,128	
3	1,023	0,000	2,574	1,693	
4	0,729	0,000	2,282	2,059	
5	0,577	0,000	2,115	2,326	
6	0,483	0,000	2,004	2,534	
7	0,419	0,076	1,924	2,704	
8	0,373	0,136	1,864	2,847	
9	0,338	0,184	1,816	2,970	
10	0,308	0,223	1,777	3,078	

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

13

Capacidade de Processo

Observações:

- 0,27% fora dos limites naturais parece pequeno, mas corresponde a 27000 peças não conformes em 1 milhão;
- Se a distribuição, da qualidade examinada não é normal, então a porcentagem de não conformidade, $\eta \pm 3\sigma$ pode ser diferente de 0,27%.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

14

(defeitos em PPM)		
Cp	Especificação unilateral	Especificação bilateral
0,25	226 628	453 255
0,50	66 807	133 614
0,60	35 931	71 861
0,70	17 865	35 729
0,80	8 198	16 395
0,90	3 467	6 934
1,00	1 350	2 700
1,10	484	967
1,20	159	318
1,3	48	96
1,40	14	27
1,50	4	7
1,60	1	2
1,70	0,17	0,34
1,80	0,03	0,06
2,00	0,0009	0,0018

Valores de Cp e falhas associadas, considerando uma distribuição normal (defeitos em PPM)

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

15

Capacidade de Processo

Capacidade do processo usando histograma

Cuidados:

- ❑ o número de observações da amostra tem que ser pelo menos 100;
- ❑ o tipo de distribuição. Se a distribuição é aproximadamente normal, o histograma dá uma visão imediata da capacidade do processo.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

16

Capacidade de Processo

O Cp mede a habilidade do processo manufaturar o produto dentro das especificações.

a) a capacidade potencial do processo é boa, porém o alvo não está bem localizado;

b) a capacidade é pobre resultante de grande variabilidade

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

17

Capacidade de Processo

O inverso de Cp vezes 100, mede a porcentagem da faixa de especificação que está sendo usada pelo processo.

Assim se $Cp=1,68$

Então,

$$P = \frac{1}{Cp} \times 100 = \frac{1}{1,68} \times 100 = 59,5\%$$

Logo: 59,5% da faixa de especificação está sendo usada pelo processo

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquela

18



Capacidade de Processo

Até agora supôs-se que os processos tem dois limites de especificação.

Muitas vezes, ele tem apenas 1, ou o superior ou o inferior.

Neste caso, define-se o Cp como:

$$Cp_U = \frac{USL - \eta}{3\sigma} \rightarrow \text{Somente a especificação superior;}$$

$$Cp_L = \frac{\eta - LSL}{3\sigma} \rightarrow \text{Somente a especificação inferior.}$$

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

19



Capacidade de Processo

Ou, para a amostra:

$$\hat{Cp}_U = \frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}} \rightarrow \text{Somente a especificação superior;}$$

$$\hat{Cp}_L = \frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}} \rightarrow \text{Somente a especificação inferior.}$$

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

20



Capacidade de Processo

Valores mínimos recomendados para capacidade de processo

	Especificação bilateral	Especificação unilateral
Processo existente	1,33	1,25
Processos novos	1,50	1,45
Segurança, ou parâmetro crítico em processo existente	1,50	1,45
Segurança, ou parâmetro crítico em processo novo	1,67	1,60

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

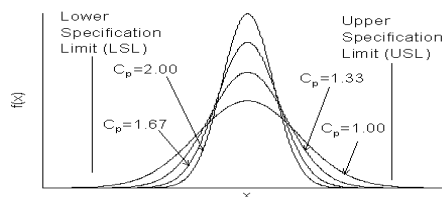
M. E. S. Taquella

21



Capacidade de Processo

Exemplos de Cp variados



EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

22



Capacidade de Processo

Atualmente, muitas companhias adotam outros critérios para avaliar o Cp, por exemplo, empresas que adotam a metodologia 6σ requerem que se a média do processo está em controle, ela deverá estar afastada pelo menos 6 desvios padrões do limite de especificação mais próximo.

Isto requer que Cp seja pelo menos igual a 2

Este objetivo pode ser estendido aos clientes e fornecedores

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

23



Capacidade de Processo

O Cp não leva em conta onde a média do processo está localizada em relação aos limites de especificação. Ele apenas mede o espalhamento da especificação relativa ao espalhamento 6σ do processo.

Portanto, muitas vezes, o processo tem Cp=2,0, mas tem um deslocamento da média, tornando-o fora de controle.

O deslocamento da média pode ser melhor expresso por meio de uma quantidade que leva em conta se o processo está ou não centrado.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

24



Capacidade de Processo

Esta situação é melhor explicada pela definição de uma nova capacidade de processo, Cpk, que leva em conta a centralização do processo.

$$Cpk = \min(Cp_U, Cp_L),$$

Isto é:

$$Cpk = \min\left(Cp_U = \frac{USL - \eta}{3\sigma}, Cp_L = \frac{\eta - LSL}{3\sigma}\right)$$



Capacidade de Processo

Note que Cpk é o Cp unilateral, para o limite de especificação mais próximo da média do processo.

Se $Cp = Cpk$,

Então o processo é centrado no meio dos limites de especificação, e se $Cpk < Cp$ o processo está fora de centro.

A figura da próxima transparência explica o que foi relatado

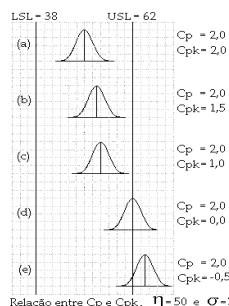


(defeitos em PPM)		
Cp	Especificação unilateral	Especificação bilateral
0,25	226 628	453 255
0,50	66 807	133 614
0,60	35 931	71 861
0,70	17 865	35 729
0,80	8 198	16 395
0,90	3 467	6 934
1,00	1 350	2 700
1,10	484	967
1,20	159	318
1,3	48	96
1,40	14	27
1,50	4	7
1,60	1	2
1,70	0,17	0,34
1,80	0,03	0,06
2,00	0,0009	0,0018

Valores de Cp e falhas associadas, considerando uma distribuição normal (defeitos em PPM)



Capacidade de Processo



A medida do Cpk em relação ao Cp é uma medida direta de quão fora de centro o processo está operando.

Observando caso (c): $Cp=2$ e $Cpk=1$, e olhando a tabela para obter rapidamente o uma estimativa potencial de melhoria que seria possível centrando o processo.

Se $Cp=1$, na tabela; lê-se no teste unilateral uma estimativa real de defeitos de 1350PPM.

Se o processo fosse centrado, então $Cp=2,0$, que usando a mesma tabela para o teste bilateral, tem-se $Cp=2,0$ com 0,0018PPM.

Portanto, uma melhoria de várias ordens de grandeza no desempenho do processo



Capacidade de Processo

Daí, conclui-se que:

Cp mede a capacidade **potencial** do processo, enquanto que, **Cpk** mede a capacidade **real** do processo.



Capacidade de Processo

Muitos engenheiros experientes, e autoridades em qualidade aconselham não usar rotineiramente Cp e Cpk.

Eles acham que é uma super simplificação de um fenômeno complexo, principalmente por assumir que a variabilidade em torno do processo se comporta como uma distribuição normal.

Isso pode ser motivo de abuso no uso da estatística em questão.

P. Ex. As estimativas pontuais de capacidade são virtualmente inúteis (base em pequenas amostras)