

Controle de Qualidade II

Roteiro

1. Capacidade de Processo
2. Avaliação da Qualidade de Medidas
3. Inspeção por Amostragem
4. Referências

Capacidade de Processo

Roteiro

1. Limites de Especificação
2. Índices de Capacidade do Processo
3. Alarmes vs. Itens Não Conformes
4. Referências

Limites de Especificação

Capacidade de Processo

- Capacidade de produzir itens de acordo com as especificações do projeto (itens conformes)
 - √ Não está apenas vinculada à presença ou ausência de causas especiais;
 - √ As causas especiais reduzem a capacidade do processo e aumentam o número de não-conformidades produzidas.;

Limites Naturais de Especificação

- Valores de X situados a $\mu_0 \pm 3\sigma_0$
 \checkmark Adotando-se as estimativas de μ_0 e σ_0 :

$$\left. \begin{array}{l} \bar{X} \\ \bar{R}/d_2 \end{array} \right\}$$

$$LSN = \mu_0 + 3\sigma_0 = \bar{X} + 3\frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$LIN = \mu_0 - 3\sigma_0 = \bar{X} - 3\frac{\bar{R}}{d_2}$$

Exemplo

- Variável de interesse (X)
 \checkmark Volume de saco de leite (em ml)
 \checkmark Valor-nominal: 1.000 ml
- Estimativa dos parâmetros do processo
 \checkmark 25 amostras de tamanho 5 coletadas com o processo sob controle

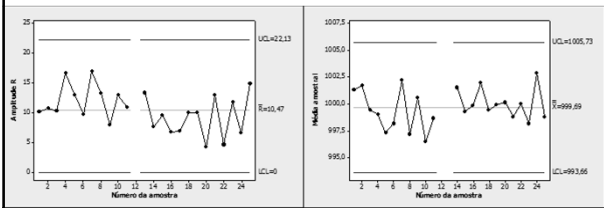
- Tabela 3.2 (Branco Costa et. al)

\checkmark Valores de $X_{ij} \sim N(1.000, 4^2)$

X_{1j}	X_{2j}	X_{3j}	X_{4j}	X_{5j}	\bar{X}_j	R
1004.6	997.3	1003.0	1005.9	995.8	1001.3	10.1
1001.6	1008.6	997.9	1001.3	999.1	1001.7	10.7
999.1	992.6	1001.1	1001.6	1002.9	999.5	10.3
1007.9	997.5	991.3	997.8	1000.8	999.1	16.6
999.5	995.6	1004.3	995.6	991.4	997.3	12.9
1003.3	996.8	997.2	993.6	1000.1	998.2	9.7
999.7	1012.1	995.2	1001.8	1002.2	1002.2	16.9
1000.1	995.3	990.0	997.5	1003.2	997.2	13.2
1004.3	1001.4	1001.6	999.1	996.4	1000.6	7.9
999.0	995.8	989.9	995.1	1002.8	996.5	12.9

$$\bar{X} = 999,7 \quad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{25} R_i}{m} = 10,5 \quad \frac{\bar{R}}{d_2(5)} = \frac{10,5}{2,326} = 4,514$$

√ Gráfico de \bar{X} e R (sem 12ª amostra):



Limites Naturais de Especificação

$$LSN = \mu_0 + 3\sigma_0 = \bar{X} + 3\frac{\bar{R}}{d_2} = 999,7 + 3(4,514) = 1.013,24$$

$$LIN = \mu_0 - 3\sigma_0 = \bar{X} - 3\frac{\bar{R}}{d_2} = 999,7 - 3(4,514) = 986,16$$

Limites de Controle para Carta \bar{X}

- Limites de Controle: $\mu_0 \pm 3\sigma_{\bar{X}} = \mu_0 \pm 3\frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$

$$LSC = \mu_0 + 3\frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} = 999,7 + 3\frac{4,514}{\sqrt{5}} = 1.005,76$$

$$LIC = \mu_0 - 3\frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} = 999,7 - 3\frac{4,514}{\sqrt{5}} = 993,64$$

√ Os Limites de Controle aplicam-se a médias amostrais

Limites de Especificação

- São estabelecidos pela engenharia
 - √ Visam minimizar as conseqüências de o produto estar fora deles
- Aplicam-se a valores individuais de X
- Valor individual e média têm as mesmas unidades físicas
 - √ escala de variação da média é menor que a dos valores individuais de X (desvios-padrão diferentes)

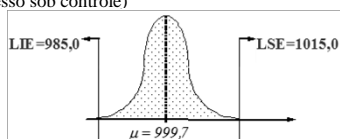
Porcentagem Fora de Especificação – PFE

- Quando o processo está sob controle (estável e ajustado) o ideal é que toda a distribuição esteja dentro dos limites de especificação
 - √ Porcentagem de Itens Fora de Especificação:

$$PFE = P\{ X > LSE \text{ ou } X < LIE \mid \mu = \mu_0 \text{ e } \sigma = \sigma_0 \}$$
- Quando o processo estiver fora de controle há um aumento da PFE:

$$PFE = P\{ X > LSE \text{ ou } X < LIE \mid \mu = \mu_1 \text{ e } \sigma = \sigma_1 \}$$

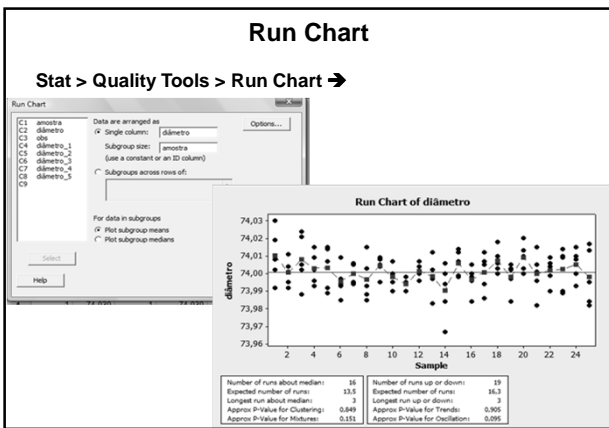
- Exemplo: Volume de sacos de leite
 - √ Processo sob controle: $\mu_0 = 999,7$ e $\sigma_0 = 4,514$
 - √ Limites de Especificação:
 - LIE = 985 ml
 - LSE = 1015 ml
 - √ Porcentagem de itens fora da especificação (processo sob controle)



$$\begin{aligned}
 PFE &= P(\{X > 1015\} \cup \{X < 985\} \mid \mu = 999,7; \sigma = 4,514) \\
 &= 0,000350158 + 0,000563905 \\
 &= 0,000914063
 \end{aligned}$$

Exemplo – Pistões

- Anéis de pistão para motores de automóveis produzidos por processo de forja
 - √ Objetivo: Controle estatístico para diâmetro interno dos anéis por cartas Xbarra-R
 - √ Amostras de tamanho 5
 - √ 25 amostras
- Planilha: *BD_CQ_II* / guia: *pistoes*



Estatísticas Descritivas

- Média:
 - mean diâmetro
- Amplitude
 - √ Por amostra:
 - describe c2;
 - range;
 - by c1.
 - √ Amplitude Média:
 - Criar coluna item (1 a 5)
 - unstack diâmetro de acordo a item
 - range diâmetro_1 – diâmetro_5 C9
 - mean coluna com ranges

Estadísticas Descritivas

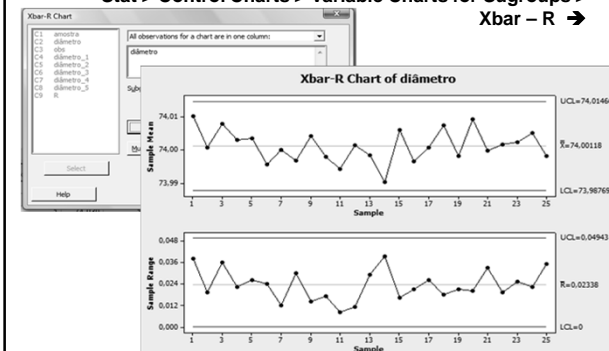
- Média global:
 $\sqrt{74,001}$
 - Amplitude média:
 $\sqrt{0,023}$
 - Desvio-padrão do processo:
 $\sqrt{0,0099}$
- $$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,023}{2,326}$$

Limites de Controles das Cartas

- Gráfico de R:
 $\sqrt{LIC} = 0$
 $\sqrt{LSC} = 0,049$
 - Gráfico de \bar{X} :
 $\sqrt{LIC} = 73,988$
 $\sqrt{LSC} = 74,014$
- $$LIC = \bar{R}D_3$$
- $$LSC = \bar{R}D_4$$
- $$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$$
- $$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$$

Cartas de Controle

Stat > Control Charts > Variable Charts for Sgroups >
Xbar - R →



Fração de Anéis Não-conformes

- Limites de Especificação:

$$\sqrt{74,000 \pm 0,050 \text{ mm}}$$

- Fração de anéis não-conformes:

$$p = P\{X < 73,950\} + P\{X > 74,050\}$$

```

RTE > let k1 = 74,0012
RTE > let k2 = 0,0099914
RTE > name k1 'media'
RTE > name k2 'desvio'
RTE > sd = 73,950 k1;
FUNCO normal media desvio.
RTE > sd = 74,050 k1;
FUNCO normal media desvio.
RTE > let k3 = k2 * (2 - k1)
RTE > print k3

Data Display
k3 0,00000668
    
```

1 parte por milhão (ppm)

Índices de Capacidade do Processo

Capacidade do Processo

- Índice de Capacidade do Processo (C_p):

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad \hat{C}_p = \frac{74,05 - 73,95}{6(0,0099)} = 1,68$$

- Porcentagem da faixa de especificação usada pelo sistema:

$$P = \left(\frac{1}{C_p}\right) 100\% \quad \hat{P} = \left(\frac{1}{\hat{C}_p}\right) 100\% = 59,5\%$$

Índices de Capacidade do Processo

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

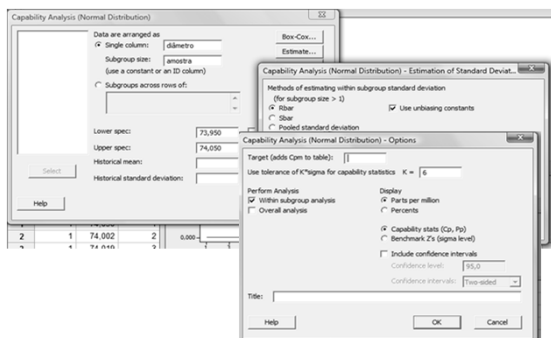
$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right\}$$

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (d - \mu)^2}}$$

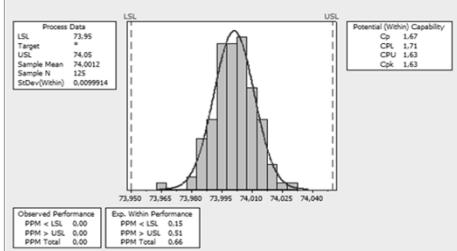
- São adimensionais e medem indiretamente a capacidade de o processo atender às especificações
√ (quanto maior, melhor)
- Os índices se igualam quando $d = \mu$
√ d: ponto médio do intervalo de especificação

Capacidade Processo – Minitab

Stat > Quality Tools > Capability Analysis > Normal →



Process Capability of diâmetro



PPM Total: número de partes por milhão cuja característica de interesse está fora dos limites de tolerância

C_p e Falhas Associadas (ppm defeituosas)

Table 7-2 Values of the Process Capability Ratio (C_p) and Associated Process Fallout for a Normally Distributed Process (in Defective ppm) That Is in Statistical Control

PCR	Process Fallout (in defective ppm)	
	One-Sided Specifications	Two-Sided Specifications
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
1.30	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

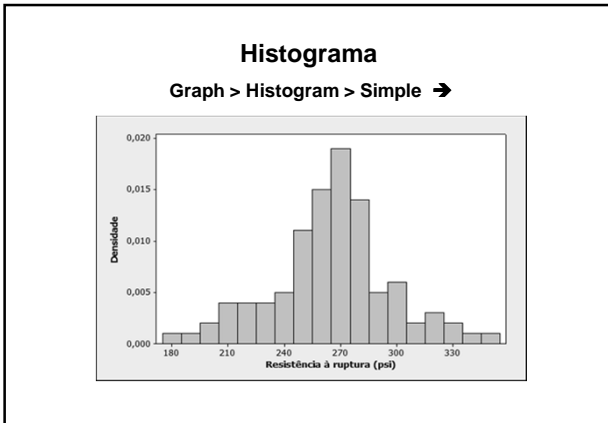
C_p – Valores Mínimos Recomendados

Table 7-3 Recommended Minimum Values of the Process Capability Ratio

	Two-Sided Specifications	One-Sided Specifications
Existing processes	1.33	1.25
New processes	1.50	1.45
Safety, strength, or critical parameter, existing process	1.50	1.45
Safety, strength, or critical parameter, new process	1.67	1.60

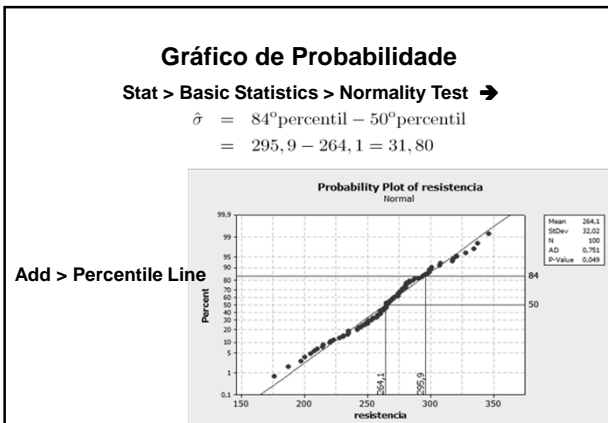
Exemplo – Garrafas

- Resistência a ruptura de garrafas de vidros de 1 litro de refrigerante
 - √ Amostra: 100 garrafas
 - √ Processo considerado como estável
 - √ Planilha: *BD_CQ_II* / guia: *garrafas*

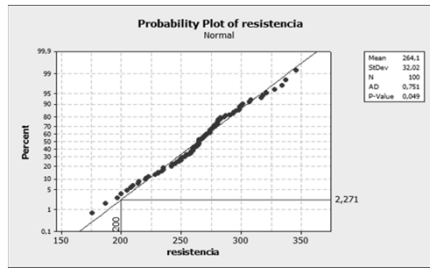


Estatísticas Descritivas

- Média das resistências:
√ 264,06
- Desvio-padrão das resistências:
√ 32,0179
- Capacidade do Processo:
√ $264,06 \pm 3(32,0179) = 264 \pm 96$ psi
- Se aproximadamente normal:
√ 99,73% das garrafas romperão entre 168 e 360



- Se LIE = 200
 $\sqrt{2,271}$ % das garrafas romperiam abaixo desse limite



- Se os dados não provêm da distribuição suposta → inferências podem apresentar erro sério

Índice de Capacidade do Processo

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

- Limites de Especificação:
 $\sqrt{LIE = 200}$ (unilateral)
- Índice de Capacidade: $\hat{C}_{pi} = \frac{264,06 - 200}{3(32,0179)} = 0,67$
- Fração não-conforme: 16.837 ppm

```
MTB > pdf 200;
SUBC> normal 264,06 32,0179.

Probability Density Function

Normal with mean = 264,06 and standard deviation = 32,0179

x      f(x)
200    0,0016837
```

Índices de Capacidade do Processo

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right\}$$

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (d - \mu)^2}}$$

- São adimensionais e medem indiretamente a capacidade de o processo atender às especificações
 $\sqrt{}$ (quanto maior, melhor)
- Os índices se igualam quando $d = \mu$
 $\sqrt{}$ d: ponto médio do intervalo de especificação

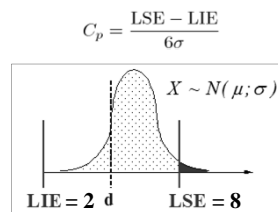
Atividade 1

Índices de Capacidade

- Suposições importantes:
 - √ A característica de qualidade tem distribuição normal
 - √ O processo está sob controle estatístico
 - √ No caso de especificações bilaterais, a média do processo está centrada entre os limites de especificação superior e inferior

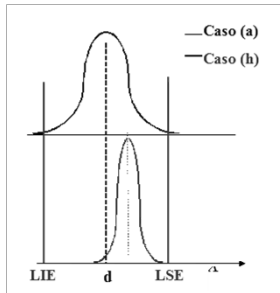
Índices de Capacidade do Processo – C_p

Caso	(μ, σ)	C_p
(a)	(5; 1)	1
(b)	(6; 1)	1
(c)	(7; 1)	1
(d)	(8; 1)	1
(e)	(9; 1)	1
(f)	(10; 1)	1
(g)	(7; 0,5)	2
(h)	(6; 0,5)	2



• C_p e PFE

Caso	(μ, σ)	C_p	PFE (%)
(a)	(5; 1)	1	0,270
(b)	(6; 1)	1	2,278
(c)	(7; 1)	1	15,866
(d)	(8; 1)	1	50,000
(e)	(9; 1)	1	84,134
(f)	(10; 1)	1	97,725
(g)	(7; 0,5)	2	2,275
(h)	(6; 0,5)	2	0,003



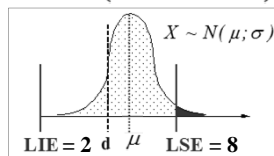
• Comentários – C_p :

- √ É insensível a mudanças na média do processo (constante para os casos *a, f, g e h*)
- √ Só deve ser usado quando μ permanece centrada em *d*
- √ Não se aplica a especificação unilateral

Índices de Capacidade do Processo – C_{pk}

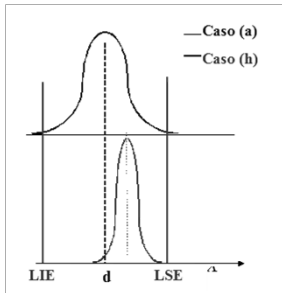
Caso	(μ, σ)	C_{pk}
(a)	(5; 1)	1
(b)	(6; 1)	2/3
(c)	(7; 1)	1/3
(d)	(8; 1)	0
(e)	(9; 1)	-1/3
(f)	(10; 1)	-2/3
(g)	(7; 0,5)	2/3
(h)	(6; 0,5)	4/3

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right\}$$



• C_{pk} e PFE

Caso	(μ, σ)	C_{pk}	PFE (%)
(a)	(5; 1)	1,000	0,270
(b)	(6; 1)	0,667	2,278
(c)	(7; 1)	0,333	15,866
(d)	(8; 1)	0,000	50,000
(e)	(9; 1)	-0,333	84,134
(f)	(10; 1)	-0,667	97,725
(g)	(7; 0,5)	0,667	2,275
(h)	(6; 0,5)	1,333	0,003



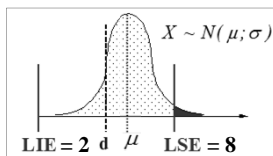
• Comentários – C_{pk} :

- ✓ Penaliza os processos mais pela falta de centralidade que pela PFE
- ✓ Assume valores negativos se μ não pertencer ao intervalo de especificação (casos e e f)
- ✓ No caso de especificação unilateral, é calculado apenas com o limite existente

Índices de Capacidade do Processo – C_{pm}

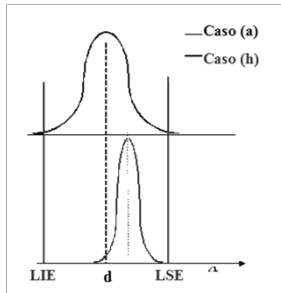
Caso	(μ, σ)	C_{pm}
(a)	(5; 1)	1
(b)	(6; 1)	$1/\sqrt{1+1}$
(c)	(7; 1)	$1/\sqrt{1+4}$
(d)	(8; 1)	$1/\sqrt{1+9}$
(e)	(9; 1)	$1/\sqrt{1+16}$
(f)	(10; 1)	$1/\sqrt{1+25}$
(g)	(7; 0,5)	$1/\sqrt{0,25+4}$
(h)	(6; 0,5)	$1/\sqrt{0,25+1}$

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (d - \mu)^2}}$$



• C_{pm} e PFE

Caso	(μ, σ)	C_{pm}	PFE (%)
(a)	(5; 1)	1,000	0,270
(b)	(6; 1)	0,707	2,278
(c)	(7; 1)	0,447	15,866
(d)	(8; 1)	0,316	50,000
(e)	(9; 1)	0,243	84,134
(f)	(10; 1)	0,196	97,725
(g)	(7; 0,5)	0,485	2,275
(h)	(6; 0,5)	0,894	0,003



• Comentários – C_{pm} :

- ✓ $PFE_a > PFE_h$, mas o CP_m de a é menor que o de h
- ✓ Penaliza os processos mais pela falta de centralidade que pela PFE
- ✓ É mais coerente com a visão de Taguchi
 - existe “perda” crescente com o afastamento da característica em relação a seu valor-alvo
- ✓ Não é coerente com a visão de que um item é conforme se o valor da característica de qualidade estiver entre LIE e LSE e não conforme, caso contrário
- ✓ Não se aplica a especificação unilateral

• Valores de C_p , C_{pk} e C_{pm}

✓ LIE=2 e LSE=8

Caso	(μ, σ)	C_p	C_{pk}	C_{pm}	PFE (%)
(a)	(5; 1)	1	1,000	1,000	0,270
(b)	(6; 1)	1	0,667	0,707	2,278
(c)	(7; 1)	1	0,333	0,447	15,866
(d)	(8; 1)	1	0,000	0,316	50,000
(e)	(9; 1)	1	-0,333	0,243	84,134
(f)	(10; 1)	1	-0,667	0,196	97,725
(g)	(7; 0,5)	2	0,667	0,485	2,275
(h)	(6; 0,5)	2	1,333	0,894	0,003

- Comparação de Casos – Comentários:
 - √ O índice C_p é insensível a mudanças na média do processo
 - casos: a - f e g - h
 - √ O índice C_{pk} assume valores negativos se a média do processo não pertencer ao intervalo da especificação
 - casos: e - f
 - √ Desvantagens do índice C_{pm} :
 - Podem apresentar valores muito diferentes em processos com mesma PFE
 - Processos com PFE's muito diferentes podem ter valores de C_{pm} muito próximos

Relação entre os Índices e a PFE

- A relação depende da distribuição da característica de qualidade
- Diferentes valores de C_{pm} podem corresponder a uma mesma PFE
 - √ casos b e g
- C_{pm} penaliza a falta de centralidade do processo
 - √ casos a e h: $C_{pma} < C_{pmh}$, embora $PFE_a < PFE_h$

Razões de Capacidade – Processo Descentrado

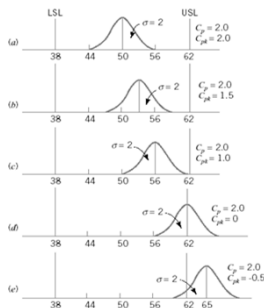


Figure 7-8 Relationship of C_p and C_{pk}

C_p não considera a centralização do processo
 Não é uma medida da **capacidade real** do processo
 √ É medida de sua **capacidade potencial**

Atividade 2

Intervalo de Confiança – C_p

$$\hat{C}_p = \frac{\text{LSE} - \text{LIE}}{6S} \quad \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi_{n-1}^2$$

$$\chi_i^2 \leq \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \leq \chi_s^2, \text{ com } \chi_i^2 = \chi_{\alpha/2, (n-1)}^2, \text{ e } \chi_s^2 = \chi_{(1-\alpha/2), (n-1)}^2$$

$$\sqrt{\frac{\chi_i^2}{(n-1)S^2}} \leq \frac{1}{\sigma} \leq \sqrt{\frac{\chi_s^2}{(n-1)S^2}}$$

$$\hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi_i^2}{(n-1)}} \leq C_p \leq \hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi_s^2}{(n-1)}}$$

Exemplo

- Processo:
 - √ Especificações: LSE = 62 e LSI = 38
 - √ Amostra: 20
 - √ Estimativa Sigma do processo: 1,75
 - Índice Capacidade do Processo: $\hat{C}_p = \frac{62 - 38}{6(1,75)} = 2,29$
 - Percentis: $\chi_i^2 = \chi_{0,05/2, (20-1)}^2 = 8,91$, e $\chi_s^2 = \chi_{(1-0,05/2), (20-1)}^2 = 32,85$
 - Intervalo com 95% de confiança para o C_p :
- $$2,29 \sqrt{\frac{8,91}{19}} \leq C_p \leq 2,29 \sqrt{\frac{32,85}{19}} \quad 1,57 \leq C_p \leq 3,01$$

Comentários

- Intervalo amplo (pouco informativo)
- S apresenta flutuação considerável em amostras pequenas ou mesmo moderadamente grandes
- Intervalos de confiança C_p baseados em pequenas amostras serão amplos
- Processo deve estar sob controle estatístico para que C_p tenha significado real
- Se o processo não está sob controle S e R/d_2 podem ser muito diferentes
 - √ Podem levar a valores diferentes de C_p

Atividade 3

Teste de Hipóteses – C_p

- Exemplo motivador:
 - √ Exigência contratual de que fornecedor demonstre a capacidade de seu processo
- Hipóteses:
 - √ $H_0: C_p = C_{p0}$ (ou o processo não é capaz)
 - √ $H_1: C_p > C_{p0}$ (ou o processo é capaz)
- Teste estatístico sob hipótese de normalidade:
 - √ Estatística de teste: \hat{C}_p
 - √ Rejeita-se H_0 se \hat{C}_p estiver acima de valor crítico C

- Tabela de tamanhos amostrais e valores críticos (Kane, 1986)
 - √ $C_p(\text{alto})$: capacidade de um processo que aceitaríamos com probabilidade $1 - \alpha$
 - √ $C_p(\text{baixo})$: capacidade de um processo que rejeitaríamos com probabilidade $1 - \beta$

Exemplo de Uso da Tabela

- Fornecedor deve demonstrar que capacidade do processo supera $C_p = 1,33$
- Hipóteses:
 - √ $H_0: C_p = 1,33$
 - √ $H_1: C_p > 1,33$
- Estruturação do teste:
 - √ $C_p(\text{baixo})=1,33 \rightarrow P\{\text{detectar } C_p < 1,33\} = 0,90$
 - √ $C_p(\text{alto})=1,66 \rightarrow P\{\text{julgado capaz } C_p < 1,66\} = 0,90$
 - √ α e $\beta = 0,10$

- Da tabela:

$$\frac{C_p(\text{alto})}{C_p(\text{baixo})} = \frac{1,66}{1,33} = 1,25 \quad \rightarrow \quad n = 70 \quad \text{e} \quad \frac{C}{C_p(\text{baixo})} = 1,10$$

- Determinação valor crítico do teste:

$$C = 1,10 C_p(\text{baixo}) = 1,46$$

- Para demonstrar capacidade, fornecedor deve tomar amostra de 70 itens e C_p amostral deve ser maior que 1,46.

Atividade 4

- Teste para C_p :
√ Tabela para Determinação do Tamanho da Amostra e do Valor Crítico

TABLE 1. Sample Size and Critical Value Determination for Testing C_p

Sample Size	$\alpha = \beta = .10$		$\alpha = \beta = .05$	
	$C_p(\text{high})/C_p(\text{low})$	$c/C_p(\text{low})$	$C_p(\text{high})/C_p(\text{low})$	$c/C_p(\text{low})$
10	1.88	1.27	2.26	1.37
20	1.53	1.20	1.73	1.26
30	1.41	1.16	1.55	1.21
40	1.34	1.14	1.46	1.18
50	1.30	1.13	1.40	1.16
60	1.27	1.11	1.36	1.15
70	1.25	1.10	1.33	1.14
80	1.23	1.10	1.30	1.13
90	1.21	1.10	1.28	1.12
100	1.20	1.09	1.26	1.11

Análise de Capacidade – Cartas de Controle

- Não são necessárias especificações para estimar parâmetros e estabelecer a estabilidade do processo
- Gráficos Xbarra e R permitem analisar
 - √ Variabilidade instantânea: capacidade do processo a curto prazo
 - √ Variabilidade ao longo do tempo: capacidade do processo a longo prazo
- Auxiliam bastante quando os dados sobre capacidade são coletados em períodos de tempo diferentes

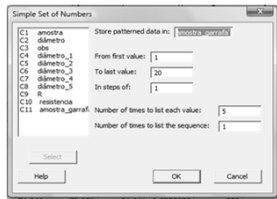
- Dados garrafas tomadas como 20 amostras (n=5)

Table 7-5 Glass Container Strength Data (psi)

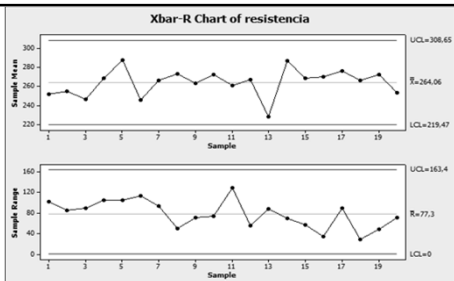
Sample	Data				\bar{x}	R	
1	265	265	263	307	252.0	102	
2	268	269	234	299	255.2	84	
3	197	286	274	243	231	246.2	89
4	297	281	265	214	318	269.8	104
5	346	317	342	258	276	287.8	104
6	300	268	187	264	271	246.0	113
7	280	242	260	321	228	266.2	93
8	250	299	258	267	293	273.4	49
9	265	254	281	294	223	263.4	71
10	260	368	235	283	277	272.6	73
11	200	235	246	328	296	261.0	126
12	276	264	269	235	290	266.8	55
13	221	176	248	263	231	227.8	87
14	334	280	265	272	283	286.8	69
15	265	262	271	245	301	268.8	56
16	280	274	253	287	258	270.4	34
17	261	248	260	274	337	276.0	89
18	250	278	254	274	275	266.2	28
19	278	250	265	270	298	272.2	48
20	257	210	280	269	251	253.4	70
					$\bar{x} = 264.06$	$R = 77.3$	

- Carta R:
 - $LC = 77,3$
 - $LSC = D_4 R = 163,49$
 - $LIC = D_3 R = 0$
- Carta Xbarra:
 - $LC = 264,06$
 - $LSC = \bar{x} + A_2 R = 308,66$
 - $LIC = \bar{x} - A_2 R = 219,46$

- Criar coluna para amostras:
Calc > Make Patterned Data > Simple Set of Numbers



- Gráfico de controle Xbar-R



- Gráficos revelam controle estatístico

- Estimativas dos parâmetros do processo:

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} = 264,06$$
$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{77,3}{2,326} = 33,23$$

- Especificação unilateral: LIE: 200
- Índice unilateral da capacidade do processo:

$$\hat{C}_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\hat{\sigma}} = \frac{264,06 - 200}{3(33,23)} = 0,64$$

- Processo sob controle, mas operando em nível inadequado

Comentários

- Gráfico de controle pode ser usado como dispositivo de monitoramento ou diário de bordo para mostrar efeito de modificações
- É inseguro analisar capacidade de processos fora de controle

Limites de Especificação sobre Componentes

Fixação de Limites de Especificação

- Estudo da capacidade de processo para fixar especificações sobre componentes que interagem
- Importante em montagens complexas
- Importante para evitar empilhamento de tolerâncias

Combinações Lineares

- Dimensão de um item é combinação linear de dimensões de componentes
- Dimensão de montagem final
 $Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$
- X_i são independentes com distribuição normal:
 $Y \sim N(\mu_Y, \sigma_Y^2)$ $\mu_Y = \sum_{i=1}^n a_i\mu_i$ e $\sigma_Y^2 = \sum_{i=1}^n a_i^2\sigma_i^2$
- Se μ_i e σ_i^2 são conhecidos pode-se determinar a fração de itens montados que escapa às especificações

Exemplo – Montagem Final

- Comprimento final de montagem:
 $Y = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$
- Comprimentos de componentes (polegadas):
 - √ Independentes (máquinas diferentes)
 - √ Distribuição comprimento componentes
 $X_1 \sim N(2,0; 0,0004)$
 $X_2 \sim N(4,5; 0,0009)$
 $X_3 \sim N(3,0; 0,0004)$
 $X_4 \sim N(2,5; 0,0001)$
- Especificação sistema montado: $12,00 \pm 0,10$

- Média e variância montagem final:

$$\mu_Y = 12,0 \text{ e } \sigma_Y^2 = 0,0018$$

- Fração da montagem final dentro dos limites de especificação:

$$P\{11,90 \leq Y \leq 12,10\} = 0,981578$$

98,7% das montagens em cadeia estão dentro dos limites de especificação

Exemplo – Montagem

- Determinação dos limites de especificação componentes para que satisfação limites montagem
- Comprimento final de montagem:
 $Y = X_1 + X_2 + X_3$
- Comprimentos de componentes (polegadas):
√ Independentes (máquinas diferentes)
√ X_1, X_2 e X_3 : distribuição normal com médias $\mu_1 = 1,00, \mu_2 = 3,00$ e $\mu_3 = 2,00$, respectivamente
- Quer-se $C_p = 1,5$ para a montagem final

- C_p equivale a cerca de 7 ppm de defeituosos
- Limites naturais de tolerância para 7 ppm:

$$\mu_Y \pm 4,49\sigma_Y$$

- Desvio-padrão da montagem final

$$\sigma_Y = \frac{0,06}{4,49} = 0,0314 \Rightarrow \sigma_Y \leq 0,0314$$

- Desvio-padrão dos componentes

√ Supondo-os iguais

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_Y^2}{3} = \frac{(0,0314)^2}{3} = 0,00006$$

- Se $\sigma^2 \leq 0,00006$ para cada componente, então os limites naturais de tolerância para a montagem final estarão dentro dos limites de especificação tais que $C_p = 1,50$

$$X_1 = 1 \pm 3\sqrt{0,00006} = 1 \pm 0,0232$$

$$X_2 = 3 \pm 3\sqrt{0,00006} = 3 \pm 0,0232$$

$$X_3 = 2 \pm 3\sqrt{0,00006} = 2 \pm 0,0232$$

Atividade 5

Referências

Bibliografia Recomendada

- COSTA, A.F.B.; EPPRECHT, E.K. e CARPINETTI, L.C.R. *Controle Estatístico de Qualidade*. Atlas, 2004
- MONTGOMERY, D.C. *Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade*, 4ª. edição. LTC, 2004
- MITTAG, H.-J. e RINNE, H. *Statistical Methods of Quality Assurance*. Chapman & Hall, 1993.
