

Gráfico de Controle por Variáveis

Roteiro

1. Construção de Gráficos de Controle de \bar{X} e R
2. Análise de Desempenho dos Gráficos \bar{X} e R
3. Alternativas para Monitoramento da Dispersão
4. Regras Suplementares de Decisão para Gráficos \bar{X}
5. Escolha do Intervalo de Tempo entre Amostras
6. Referências

Controle Estatístico de Qualidade -2020

2

Alternativas para Monitoramento da Dispersão

Monitoramento da Variabilidade

- O gráfico de R tem sido mais utilizado por sua simplicidade
 - ✓ Para amostras grandes, o gráfico de S^2 ou de S são mais eficientes
 - ✓ Para amostras pequenas, o gráfico de R é tão eficiente quanto eles
 - ✓ A diferença começa a ser sensível para amostras maiores que 10 unidades

Controle Estatístico de Qualidade -2020

98

Gráfico do Desvio-Padrão S

- Pontos Amostrais:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$$

√ Distribuição amostral não é tabelada. Pela tabela χ^2 :

$$P\{S > x\} = P\{S^2 > x^2\}, \text{ com } \frac{n-1}{\sigma_0^2} S^2 \sim \chi_{n-1}^2$$

√ Parâmetros da Estatística:

$$\begin{aligned}\mu_S &= c_4 \sigma \\ \sigma_S^2 &= (1 - c_4^2) \sigma^2\end{aligned}$$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

100

- Limites 3σ do Gráfico de S:

$$LSC_S = c_4 \hat{\sigma}_0 + 3 \hat{\sigma}_0 \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$LM_S = c_4 \hat{\sigma}_0$$

$$LIC_S = c_4 \hat{\sigma}_0 - 3 \hat{\sigma}_0 \sqrt{1 - c_4^2}$$

√ $\hat{\sigma}_0$: valor estimado do desvio-padrão do processo isento de causas especiais

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

101

Gráfico do Desvio-Padrão S

- Limites de Controle do Gráfico de S:

$$LSC_S = c_4 \hat{\sigma}_0 + 3 \hat{\sigma}_0 \sqrt{1 - c_4^2} = B_6 \hat{\sigma}_0 \quad B_5 = c_4 - 3 \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$LM_S = c_4 \hat{\sigma}_0$$

$$LIC_S = c_4 \hat{\sigma}_0 - 3 \hat{\sigma}_0 \sqrt{1 - c_4^2} = B_3 \hat{\sigma}_0 \quad B_6 = c_4 + 3 \sqrt{1 - c_4^2}$$

- Se S_C é o estimador de σ

$$LSC_S = \bar{S} + 3 \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} = B_4 \bar{S} \quad S_C = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m} = \frac{\bar{S}}{c_4}$$

$$LM_S = \bar{S}$$

$$LIC_S = \bar{S} - 3 \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} = B_3 \bar{S} \quad B_3 = 1 - \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$B_6 = 1 + \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

Fonte: D. Montgomery. *Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade*

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

102

- Se S_C é usado para estimar σ , os limites para os gráficos de X podem ser definidos como:

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\bar{S}}{c_4 \sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{S} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}}$$

$$LM_{\bar{X}} = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\bar{S}}{c_4 \sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{S}$$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

103

Gráfico de S

- Limites de controle para risco a pré-determinado

$$P\{S > LSC_S\} = \gamma$$

$$P\left\{\frac{n-1}{\sigma_0^2} S^2 > \frac{n-1}{\sigma_0^2} LSC_S^2\right\} = \gamma$$

$$\frac{n-1}{\sigma_0^2} LSC_S^2 = \chi_{n-1; \gamma}^2$$

$$LSC_S = \sigma_0 \sqrt{\frac{\chi_{n-1; \gamma}^2}{n-1}}$$

✓ $\gamma = \alpha/2$ (limites bilaterais) ou $\gamma = \alpha$ (unilateral)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

105

- Limites de controle – bilateral

$$LSC_S = \hat{\sigma}_0 \sqrt{\frac{\chi_{n-1; \alpha/2}^2}{n-1}}$$

$$LM_S = \hat{\sigma}_0$$

$$LIC_S = \hat{\sigma}_0 \sqrt{\frac{\chi_{n-1; (1-\alpha/2)}^2}{n-1}}$$

- Limites de controle – unilateral

$$LSC_S = \hat{\sigma}_0 \sqrt{\frac{\chi_{n-1; \alpha}^2}{n-1}}$$

$$LM_S = \hat{\sigma}_0$$

$$LIC_S = 0$$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

106

Exemplo – 4.4/7

- Fabricação de refrigerante:

✓ Característica de qualidade de interesse:

- quantidade de CO₂ na bebida
- valor-alvo: $\sigma_0 = 0,3$ g CO₂/l
- Banco de dados: *BD_CQ.xls*/guia: CO2

✓ Fase 1:

- $m = 15$ e $n = 5$
- Construção de gráfico de S unilateral ($\alpha = 0,01$ e $\alpha = 0,05$)

✓ Fonte: Tabela 4.4/1, pág. 397, Mittag

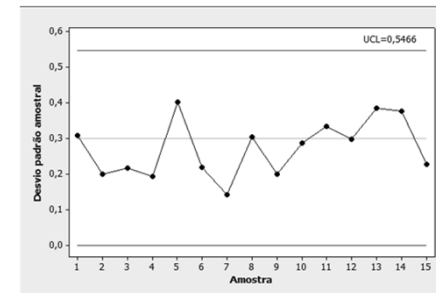
Controle Estatístico de Qualidade - 2020

107

- Limite superior de controle:

✓ $\alpha = 0,01$ (unilateral)

$$LSC_S = \hat{\sigma}_0 \sqrt{\frac{\chi_{(n-1); \alpha}^2}{n-1}} = 0,3 \sqrt{\frac{\chi_{(5-1); 0,01}^2}{5-1}} = 0,3 \sqrt{\frac{13,2767}{4}} = 0,5466$$



✓ O processo aparenta estar sob controle

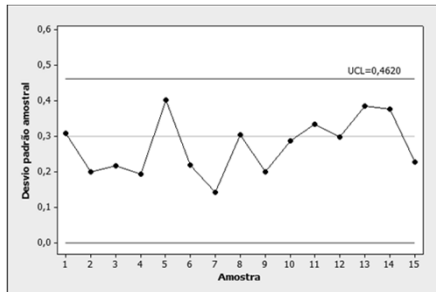
Controle Estatístico de Qualidade - 2020

108

- Limite superior de controle:

✓ $\alpha = 0,05$ (unilateral)

$$LSC_S = \hat{\sigma}_0 \sqrt{\frac{\chi^2_{(n-1),\alpha}}{n-1}} = 0,3 \sqrt{\frac{\chi^2_{(5-1);0,05}}{5-1}} = 0,3 \sqrt{\frac{9,4877}{4}} = 0,4620$$



✓ O processo aparenta estar sob controle

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

109

Gráficos de R e de S

- Gráficos $\bar{X} - S$ são preferidos aos $\bar{X} - R$ quando:
 - ✓ Amostra moderadamente grande ($n > 10$)
 - uso de amplitude para estimar σ perde eficiência ($n > 10$)
 - ✓ Tamanho da amostra é variável
- Disponibilidade atual de microcomputadores tem eliminado dificuldades computacionais na implementação dos gráficos de S

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

111

Amostra Variável

- Gráficos de $\bar{X} - S$ com tamanho de amostra variável:

✓ Estimação dos parâmetros do processo:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^m n_i} \quad \bar{S} = \left[\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - 1) S_i^2}{\sum_{i=1}^m n_i - m} \right]^{1/2}$$

✓ Limites de controle são variáveis (calculados da maneira usual)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

112

Exemplo 5.4 – Montgomery

- Diâmetros internos (mm) de anéis de pistão de motores de automóveis:
 - ✓ Subgrupos coletados para fase 1, $m = 25$
 - ✓ Amostras variáveis:
 - $n = 3$ a 5
 - ✓ Banco de dados: *BD_CQ.xls/guia: pistoes*

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

113

- Medida dos diâmetros internos (mm):

i	X _{i1}	X _{i2}	X _{i3}	X _{i4}	X _{i5}	X _{bar_i}	S _i	n	n X _{bar_i}	(n-1) S _i ²
1	74,030	74,002	74,019	73,992	74,008	74,010	0,0148	5	370,050	0,000873
2	73,995	73,992	74,001			73,996	0,0046	3	221,988	0,000042
3	73,988	74,024	74,021	74,005	74,002	74,008	0,0147	5	370,040	0,000870
4	74,002	73,996	73,993	74,015	74,009	74,003	0,0091	5	370,015	0,000330
5	73,992	74,007	74,015	73,989	74,014	74,003	0,0122	5	370,017	0,000597
6	74,009	73,994	73,997	73,985		73,996	0,0099	4	295,985	0,000295
7	73,995	74,006	73,994	74,000		73,999	0,0055	4	295,996	0,000091
8	73,985	74,003	73,993	74,015	73,988	73,997	0,0123	5	369,984	0,000601
9	74,008	73,995	74,009	74,005		74,004	0,0064	4	296,017	0,000123
10	73,998	74,000	73,990	74,007	73,995	73,998	0,0063	5	369,990	0,000158
11	73,994	73,998	73,994	73,995	73,990	73,994	0,0029	5	369,971	0,000033
12	74,004	74,000	74,007	74,000	73,996	74,001	0,0042	5	370,007	0,000071
13	73,983	74,002	73,998			73,994	0,0100	3	221,989	0,000201
14	74,006	73,967	73,994	74,000	73,984	73,990	0,0153	5	369,951	0,000937
15	74,012	74,014	73,998			74,008	0,0087	3	222,024	0,000152
16	74,000	73,984	74,005	73,998	73,996	73,997	0,0078	5	369,983	0,000243
17	73,994	74,012	73,986	74,005		73,999	0,0115	4	295,997	0,000399
18	74,006	74,010	74,018	74,003	74,000	74,007	0,0070	5	370,037	0,000195
19	73,984	74,002	74,003	74,005	73,997	73,998	0,0085	5	369,991	0,000287
20	74,000	74,010	74,013			74,008	0,0068	3	222,023	0,000093
21	73,982	74,001	74,015	74,005	73,996	74,000	0,0122	5	369,999	0,000591
22	74,004	73,999	73,990	74,006	74,009	74,002	0,0074	5	370,008	0,000221
23	74,010	73,989	73,990	74,009	74,014	74,002	0,0119	5	370,012	0,000569
24	74,015	74,008	73,993	74,000	74,010	74,005	0,0087	5	370,025	0,000303
25	73,982	73,984	73,995	74,000	74,000	73,990	0,0162	5	369,991	0,001047
Total								113	8362,085	0,009320

114

- Média global:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^m n_i} = \frac{8.362,085}{113} = 74,001$$

- Desvio padrão médio ponderado:

$$\bar{s} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{25} (n_i - 1) S_i^2}{\sum_{i=1}^{25} n_i - 25} \right]^{1/2} = \left[\frac{0,009320}{88} \right]^{1/2} = 0,01030$$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

115

- Limites de controle para a amostra 1 (n₁ = 5):

√ Gráfico de S:

$$LSC_s = \bar{s} \left(1 + 3 \sqrt{\frac{1}{c_4^2} - 1} \right) = 0,01030 \left(1 + 3 \sqrt{\frac{1}{0,940^2} - 1} \right) = 0,02152$$

$$LM_s = \bar{s} = 0,01030$$

$$LIC_s = 0$$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

116

- Cálculo dos Limites de Controle:

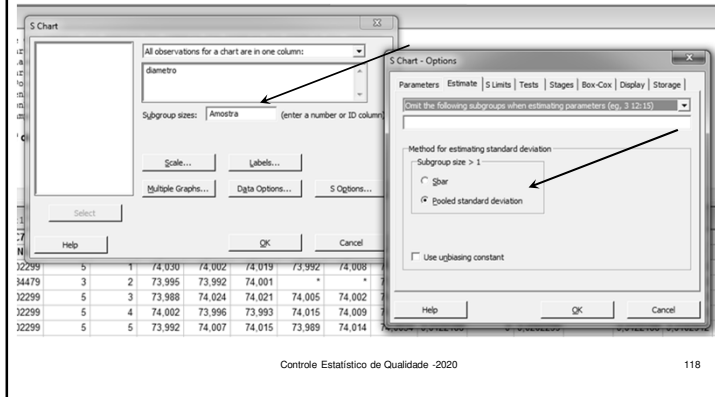
i	n	X _{bar_i}	S _i	LSC _s
1	5	74,010	0,0148	0,0215
2	3	73,996	0,0046	0,0264
3	5	74,008	0,0147	0,0215
4	5	74,003	0,0091	0,0215
5	5	74,003	0,0122	0,0215
6	4	73,996	0,0099	0,0233
7	4	73,999	0,0055	0,0233
8	5	73,997	0,0123	0,0215
9	4	74,004	0,0064	0,0233
10	5	73,998	0,0063	0,0215
11	5	73,994	0,0029	0,0215
12	5	74,001	0,0042	0,0215
13	3	73,994	0,0100	0,0264
14	5	73,990	0,0153	0,0215
15	3	74,008	0,0087	0,0264
16	5	73,997	0,0078	0,0215
17	4	73,999	0,0115	0,0233
18	5	74,007	0,0070	0,0215
19	5	73,998	0,0085	0,0215
20	3	74,008	0,0068	0,0264
21	5	74,000	0,0122	0,0215
22	5	74,002	0,0074	0,0215
23	5	74,002	0,0119	0,0215
24	5	74,005	0,0087	0,0215
25	5	73,998	0,0162	0,0215

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

117

- Gráfico de S – amostra variável

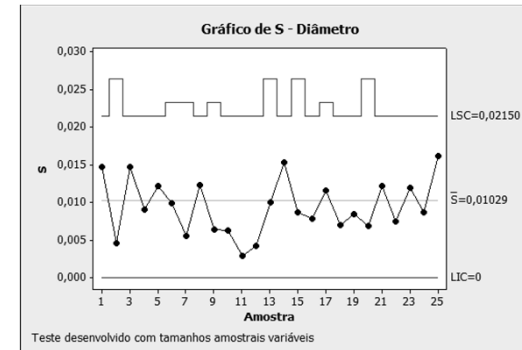
Stat > Control Charts > Variable Charts for Subgroups > S ➔



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

118

- Gráfico de S – Minitab



✓ Processo aparenta estar estável

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

119

Gráfico da Variância Amostral S^2

- Supondo amostra aleatória de população normal:

$$\frac{n-1}{\sigma^2} S^2 \sim \chi_{n-1}^2$$

- Limites de controle para risco de alarme falso α :

$$LSC_{S^2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{n-1} \chi_{n-1; \alpha/2}^2$$

$$LM_{S^2} = \hat{\sigma}_0^2$$

$$LIC_{S^2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{n-1} \chi_{n-1; (1-\alpha/2)}^2$$

✓ $\hat{\sigma}_0^2$: estimativa variância de processo sob controle

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

121

Fase 1

- ✓ Coleta de m subgrupos de tamanho n, com o processo sob controle estatístico
- ✓ Estimativa da variância do processo isento de causas especiais:

$$\bar{S}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m S_i^2}{m}$$

- ✓ Linha média: \bar{S}^2
- ✓ Procedimento análogo ao adotado para o gráfico de R
 - Plotagem dos pontos
 - Exame de eventuais pontos fora dos limites de controle

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

122

Exemplo

- Plano amostral:
√ $n = 5$ e risco de alarme falso $\alpha = 0,005$
- Limites de controle do gráfico:

$$LSC_{S^2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{5-1} 16,424 = 4,11 \hat{\sigma}_0^2$$

$$LIC_{S^2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{4} 0,145 = 0,04 \hat{\sigma}_0^2$$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

123

Comparação com o Gráfico de R

- Plano amostral: $n = 5$ e risco $\alpha = 0,47\%$
√ Gráfico de R com limites 3σ :
 $LSC_R = 1,92 \sigma_0$ e $LIC_R = 0$
√ Gráfico de S^2 (limite inferior descartado):

$$LSC_{S^2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{5-1} \chi_{(5-1);0,0047}^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{4} 15,00 = 3,75 \hat{\sigma}_0^2$$

– Limite superior de controle foi reduzido

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

124

Parâmetros de S^2

- S^2 : variância amostral de amostra aleatória de população amostral $\frac{n-1}{\sigma^2} S^2 \sim \chi_{n-1}^2$

√ Média: $\mu_{S^2} = \sigma^2$

√ Variância: $Var\left[\left(\frac{n-1}{\sigma^2}\right) S^2\right] = 2(n-1)$
 $\left(\frac{n-1}{\sigma^2}\right)^2 Var(S^2) = 2(n-1) \quad \sigma_{S^2} = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \sigma^2$
 $Var(S^2) = \frac{2}{n-1} (\sigma^2)^2$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

125

Limites 3σ

- São dados por:

$$LSC_{S^2} = \hat{\sigma}_0^2 + 3 \sqrt{\frac{2}{n-1}} \hat{\sigma}_0^2$$

$$LM_{S^2} = \hat{\sigma}_0^2$$

$$LIC_{S^2} = \hat{\sigma}_0^2 - 3 \sqrt{\frac{2}{n-1}} \hat{\sigma}_0^2$$

√ $\hat{\sigma}_0^2$: estimativa variância de processo sob controle

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

126

Poder do Gráfico de S²

- Para processo com $\sigma_1^2 = (\lambda \sigma_0)^2$

$$\begin{aligned} P_d &= P\{S^2 > LSC_{S^2} | \sigma^2 = \sigma_1^2\} \\ &= P\left\{\frac{n-1}{\sigma_1^2} S^2 > \left(\frac{n-1}{\sigma_1^2}\right) LSC_{S^2}\right\} \\ &= P\left\{\chi_{n-1}^2 > \left(\frac{n-1}{\lambda^2 \sigma_0^2}\right) LSC_{S^2}\right\} \end{aligned}$$

✓ Para gráficos com limites 3σ ou com risco pré-determinado

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

127

✓ Poder de gráficos com limites 3σ :

$$\begin{aligned} P_d &= P\left\{\chi_{n-1}^2 > \left(\frac{n-1}{\sigma_1^2}\right) \hat{\sigma}_0^2 \left[1 + 3\sqrt{\frac{2}{n-1}}\right]\right\} \\ &= P\left\{\chi_{n-1}^2 > \frac{n-1}{\lambda^2} \left[1 + 3\sqrt{\frac{2}{n-1}}\right]\right\} \end{aligned}$$

✓ Poder de gráficos S² com risco α pré-determinado:

$$\begin{aligned} P_d &= P\left\{\chi_{n-1}^2 > \left(\frac{n-1}{\sigma_1^2}\right) \left(\frac{\hat{\sigma}_0^2}{n-1}\right) \chi_{n-1,\gamma}^2\right\} \\ &= P\left\{\chi_{n-1}^2 > \frac{\chi_{n-1,\gamma}^2}{\lambda^2}\right\} \end{aligned}$$

- Com $\gamma = \alpha/2$ para limites bilaterais e $\gamma = \alpha$ para LIC_{S²}=0

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

128

Comparação com o Gráfico de R

- Para $n = 5$ e risco $\alpha = 0,47\%$:

$$\sqrt{LSC_{S^2}} = 3,75 \hat{\sigma}_0^2$$

- Poder para detectar desajuste com $\sigma_1 = 2\sigma_0$:

$$\begin{aligned} P_d &= P\left\{\chi_{5-1}^2 > \left(\frac{5-1}{2^2}\right) 3,75\right\} \\ &= P\{\chi_4^2 > 3,75\} \\ &= 0,441 \end{aligned}$$

✓ Gráfico de R com as mesmas características (n e α) oferece um poder de 41%

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

129

Planejamento dos Gráficos de Controle

Planejamento de Gráfico de Controle

- Parâmetros de planejamento:
 - ✓ k : abertura dos limites de controle
 - ✓ n : tamanho da amostra
 - ✓ h : intervalo entre as amostras

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

145

- Abordagens de planejamento

- ✓ Planejamento estatístico:

- minimização do número de alarmes falsos
 - maximização da capacidade de detectar mudanças

- ✓ Planejamento econômico:

- Minimização do custo esperado do sistema de controle
 - Custos:
 - amostragem
 - envio não conformes ao mercado
 - custos de ajuste
 - etc.

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

146

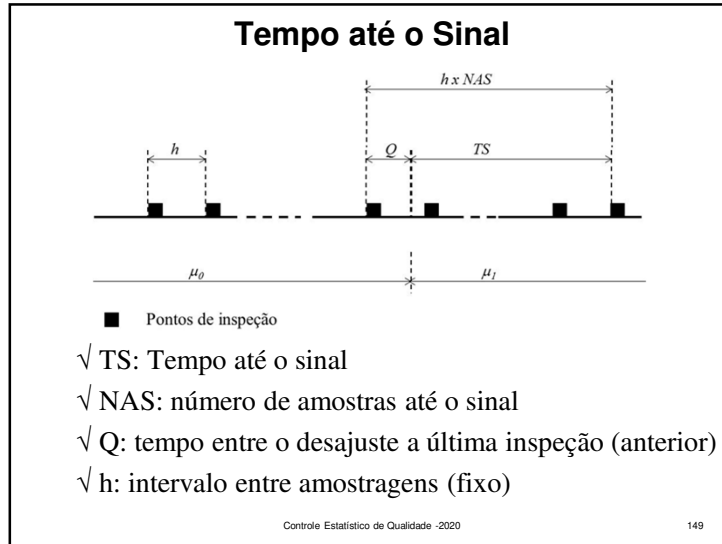
Escolha do Intervalo de Tempo entre Amostras

Intervalo de Tempo entre Amostras (h)

- É função de:
 - ✓ tempo de produção de cada item;
 - ✓ custo da inspeção;
 - ✓ tempo de inspeção;
 - ✓ estabilidade do processo;
 - ✓ custo de operar sob causa especial.

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

148



Determinação dos Parâmetros Ótimos

- ✓ TA: tempo entre alteração e alarme (TA)
(medida de eficiência)
- ✓ NAS: número de amostras até o sinal
- ✓ Q: tempo entre a última amostragem e perturbação

$$TA = h \text{ NAS} - Q$$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

150

- ✓ TMA₁: tempo esperado até alarme verdadeiro

$$TMA_1 = E(TA) = E(hNAS - Q)$$

- Depende de δ , n , h e k

- ✓ Suposição:

- perturbação ocorre ao acaso em intervalo entre amostras

$$E(Q) = h/2$$

$$TMA_1 = h \text{ CMS} - \frac{h}{2} = h \left(\frac{1}{P_d} - \frac{1}{2} \right)$$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

151

Exemplo

- ✓ Parâmetros do gráfico de \bar{X} :

$$k = 3 \text{ } (\alpha = 0,0027) \text{ e } \delta = 1,5$$

n	h (h)	P _d	CMS	TMA		n/h (am./h)
				(h)	(min)	
2	0,50	0,19	5,26	2,38	143	4
	0,25	0,19	5,26	1,19	72	8
4	0,50	0,50	2,00	0,75	45	8

- ✓ P_d: Poder (valores na Tabela 3.7)

- ✓ n/h: taxa horária de amostragem

$$TMA_1 = (0,5)(5,26) - \frac{0,5}{2} = 2,38 \text{ horas}$$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

152

• Comentários:

- ✓ É conveniente usar o TMA_1 como medida de rapidez
 - Fixados previamente CMS_0 e a taxa de amostragem (n/h);
- ✓ Há uma infinidade de combinações de (n, h, k) com mesmo mesmo tempo médio até alarme falso (TMA_0)
 - $TMA_0 = h/\alpha$
- ✓ Uma das combinações minimiza o tempo esperado até o sinal (TMA_1).

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

153

Exemplo

- Sejam $n/h = 8$, $TMA_0 = 500$ e $\delta = 1,5$
 - ✓ Qual a melhor combinação de (n, h) dentre: (2; 0,25), (4; 0,50), (8; 1,00) e (16; 2,00) ?
- 1. Para cada h , determina-se k :

$$\alpha = 2 \Phi(-k) \quad k = -\Phi^{-1}\left(\frac{h}{2 TMA_0}\right)$$

2. Determinação do poder:

$$P_d = P\{Z < -k + \delta\sqrt{n}\} + P\{Z < -k - \delta\sqrt{n}\}$$

3. Cálculo tempo médio até alarme:

$$TMA_1 = h \left(\frac{1}{P_d} - \frac{1}{2} \right)$$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

154

4. Busca-se uma combinação de (n, h, k) que minimize o tempo esperado até o sinal (TMA_1)
 - Fixam-se o tempo médio até alarme falso ($TMA_0 = h/\alpha$) e a taxa de amostragem (n/h),

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

155

• Determinação de parâmetros ótimos Gráfico \bar{X} :

Determinação dos Parâmetros do Gráfico de Controle \bar{X} -Barra			
Entrada		Saída	
$n =$	2	$k =$	3,481
$h =$	0,25 horas	Poder =	0,087
$TMA_0 =$	500 minutos	$n/h =$	8,000
$DELTA =$	1,5	CMS_1	11,494
		$TMA_1 =$	2,748 horas
		$TMA_1 =$	2,000 horas e 44,905 minutos

$$k = \Phi^{-1}\left(\frac{0,25}{2 \times 500}\right) = 3,481$$

$$P_d = P\{Z < -3,481 + 1,5\sqrt{2}\} + P\{Z < -3,481 - 1,5\sqrt{2}\} = 0,087$$

$$n/h = \frac{2}{0,25} = 8 \text{ amostras por hora}$$

$$CMS_1 = \frac{1}{0,087} = 11,494 \text{ amostras até sinal}$$

$$TMA_1 = \frac{0,25}{0,087} - \frac{0,25}{2} = 2,748 \text{ horas}$$

156

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

- Tempo esperado até o sinal

✓ Para $n/h = 8$ amostras/hora e $TMA_0 = 500$

δ	$n=2; h=0,25$		$n=4; h=0,50$		$n=8; h=1,00$		$n=16; h=2,00$	
	$k=3,48$		$k=3,29$		$k=3,09$		$k=2,88$	
	h	min.	h	min.	h	min.	h	min.
0,50	89	38	45	11	20	50	9	32
0,75	32	6	13	23	5	31	2	39
1,00	12	46	4	50	2	1	1	18
1,25	5	39	2	5	0	59	1	2
1,50	2	45	1	3	0	39	1	0
2,00	0	51	0	24	0	30	1	0

Controle Estatístico de Qualidade -2020

157

Comentários

- Entrada: $n/h = 8$ amostras/hora e $TMA_0 = 500$

✓ Para detectar pequenos deslocamentos ($\delta \leq 1$)

trabalhar com amostras grandes ($n = 16$) e intervalos de amostragem longos ($h = 2$ horas);

✓ Para deslocamentos moderados ($1 < \delta \leq 1,5$)

trabalhar com $n = 8$ e intervalos $h = 1$ hora;

✓ Para grandes deslocamentos ($\delta > 1,5$)

Trabalhar com $n = 4$ e intervalos $h = 30$ min

Controle Estatístico de Qualidade -2020

159

Planejamento Estatístico – Resumo

- Para definição do tamanho da amostra (n) e frequência de amostragem (h)

✓ Magnitude da mudança no processo a ser detectada

✓ Rapidez desejada para detectar essa mudança

- Situação ideal (inviável):

✓ grandes amostras tomadas mais frequentemente

n grande e h pequeno

- Prática adequada:

✓ pequenas amostras em intervalos de tempo menores

– mais usada em indústrias

✓ grandes amostras em intervalos de tempo maiores

Controle Estatístico de Qualidade -2020

161

Intervalo de Tempo entre Amostras

- É função de:

✓ tempo de produção de cada item;

✓ custo da inspeção;

✓ tempo de inspeção;

✓ estabilidade do processo;

✓ custo de operar sob causa especial.

Controle Estatístico de Qualidade -2020

162

• Problemas:

- ✓ obtenção de valores precisos para estes parâmetros;
- ✓ estabilidade do processo está associada ao tempo médio isento de causas especiais;
- ✓ operação sob causa especial implica aumento da PFE, dependendo da intensidade da perturbação.
- ✓ Valores pequenos de h implicam custos elevados com amostragem e maior incidência de alarmes falsos.

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

163

Conclusão

Tipos de Cartas de Controle

Classificação	Critério de diferenciação
Unilateral/multilateral	Número de limites de controle
Shewhart clássica/modificada	Procedimento de cálculo dos limites de controle
Controle único/duplo	Número de estatísticas amostrais para uma característica de qualidade
Univariada/multivariada	Quantidade de características de qualidade monitorada por uma carta
Variáveis/atributo	Tipo de distribuição da estatística amostral
Sem memória/com memória	Consideração dos resultados amostrais anteriores

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

165

Cartas de Controle de Shewhart – Variável

- Gráfico de \bar{X} (ou de \tilde{X}):
 - ✓ Estatística de teste: média amostral (ou mediana amostral)
 - ✓ Monitoramento do nível do processo
- Gráfico de R (ou de S):
 - ✓ Estatística de teste: amplitude amostral (ou desvio padrão amostral)
 - ✓ Monitoramento da dispersão do processo

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

166

- Gráfico de valor extremo:
 - ✓ Todas os elementos do vetor amostral (observações individuais) são plotados no gráfico
 - ✓ Monitoramento tanto da locação quanto da dispersão
 - ✓ Desempenho questionável quando comparado com as cartas especializadas
 - Únicos elementos de importância do vetor amostral são o máximo e o mínimo

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

167

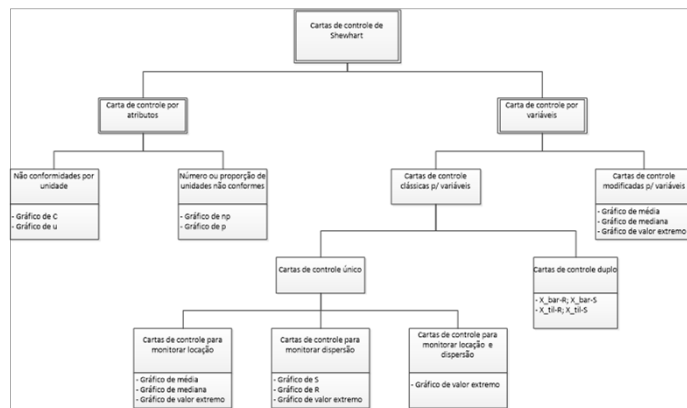
Cartas de Controle de Shewhart – Atributo

- Gráfico de C (ou np):
 - ✓ Estatística de teste: quantidade de não conformidades por unidade amostral (ou unidades amostrais não conformes)
- Gráfico de p:
 - ✓ Estatística de teste: proporção de unidades não conformes
- Gráfico de u:
 - ✓ Estatística de teste: não conformidades por unidade amostral

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

168

• Cartas de Controle de Shewhart



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

170

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.