

Limites de Controle, Limites de Especificação e Limites Naturais de Tolerância

Limites de controle: guiados pela variabilidade natural do processo LINT e LSNT, limites 3σ ;

Os Limites de Especificação: são determinados externamente. Especificados pela gerência, pelos eng. de produção pelo cliente ou pelos planejadores do produto

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais *M. E. S. Taquela* 1

Cartas de controle básicas para Variáveis

Wheeler (1995) fornece o gráfico XmR para a maioria das aplicações em tempo real que envolvem a coleta periódica de dados. Ele sugere o seguinte:

1. Carta de valores individuais para atingir uma resposta oportuna para qualquer mudança local do processo;
2. Cartas de valores de amplitudes móveis(XmR) quando é mais importante conhecer as tendências recentes do que responder a mudanças repentinas

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais *M. E. S. Taquela* 2

Cartas de controle básicas para Variáveis

Carta de valores Individuais é normalmente referida como Carta I ou Carta X
Uma carta moving- range (amplitude móvel) acompanha esta carta. Portanto, Cartas I-mR ou XmR

Para valores individuais média de n pontos é simplesmente

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Os valores adjacentes são usados para determinar o moving Range, ou seja:

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais *M. E. S. Taquela* 3

Cartas de controle básicas para Variáveis

Os valores adjacentes são usados para determinar o moving Range, ou seja:

$$MR_1 = |x_2 - x_1| \quad MR_2 = |x_3 - x_2|, \dots$$

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{i=1}^m MR_i}{m} = \frac{(MR_1) + (MR_2) + \dots + (MR_m)}{m}$$

$$LC = \bar{x} \quad LCS = \bar{x} + \frac{3(\overline{MR})}{d_2} = \bar{x} + 2,66(\overline{MR})$$

$$LCI = \bar{x} - \frac{3(\overline{MR})}{d_2} = \bar{x} - 2,66(\overline{MR})$$

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais *M. E. S. Taquela* 4

Fatores para Construção de Gráficos de Controle para Variáveis

Observações na Amostra, n	Gráficos para Médias				Gráficos para Desvios-padrão				Gráficos para Amplitudes					
	Fatores para Limites de Controle	Fatores para Limites de Controle	Fatores para Limites de Controle	Fatores para Limites de Controle	Fatores para Limites de Controle	Fatores para Limites de Controle	Fatores para Limites de Controle	Fatores para Limites de Controle	Fatores para Limites de Controle	Fatores para Limites de Controle	Fatores para Limites de Controle			
2	1,121	1,880	1,439	0,707	1,253	0	1,267	0	2,049	1,128	0,800	0,833	0	3,267
3	1,332	1,023	1,054	0,882	1,128	0	2,568	0	2,276	1,693	0,597	0,888	0	2,574
4	1,500	0,729	1,028	0,923	1,054	0	2,266	0	2,058	1,059	0,487	0,880	0	2,282
5	1,642	0,577	1,027	0,940	1,038	0	2,089	0	1,984	0,836	0,429	0,864	0	2,114
6	1,752	0,483	1,017	0,951	1,030	0,020	1,970	0,029	1,874	0,704	0,394	0,848	0	2,004
7	1,834	0,419	1,012	0,958	1,023	0,118	1,882	0,113	1,806	0,608	0,368	0,833	0,204	1,904
8	1,891	0,373	1,009	0,960	1,016	0,183	1,815	0,179	1,751	0,547	0,352	0,820	0,308	1,804
9	1,930	0,337	1,003	0,965	1,011	0,239	1,761	0,232	1,707	0,493	0,340	0,808	0,413	1,704
10	1,956	0,308	0,997	0,972	1,008	0,284	1,716	0,276	1,660	0,449	0,328	0,797	0,517	1,604
11	1,975	0,285	0,991	0,978	1,005	0,321	1,679	0,313	1,617	0,413	0,315	0,787	0,611	1,504
12	1,990	0,266	0,986	0,978	1,002	0,354	1,646	0,346	1,610	0,383	0,303	0,778	0,702	1,404
13	1,998	0,250	0,980	0,978	1,000	0,382	1,618	0,374	1,583	0,358	0,291	0,770	0,792	1,304
14	2,003	0,235	0,975	0,980	0,998	0,408	1,594	0,399	1,563	0,337	0,280	0,762	0,882	1,204
15	2,007	0,221	0,970	0,982	0,996	0,432	1,573	0,421	1,544	0,317	0,269	0,754	0,972	1,104
16	2,010	0,209	0,965	0,985	0,994	0,448	1,552	0,440	1,526	0,297	0,258	0,746	1,062	1,004
17	2,012	0,198	0,960	0,988	0,992	0,464	1,534	0,458	1,511	0,277	0,247	0,738	1,152	0,904
18	2,014	0,188	0,955	0,991	0,990	0,480	1,516	0,476	1,496	0,257	0,236	0,730	1,242	0,804
19	2,016	0,179	0,950	0,994	0,988	0,496	1,498	0,494	1,483	0,237	0,225	0,722	1,332	0,704
20	2,017	0,171	0,945	0,997	0,986	0,512	1,481	0,512	1,468	0,217	0,214	0,714	1,422	0,604
21	2,018	0,164	0,940	0,999	0,984	0,528	1,464	0,528	1,454	0,197	0,205	0,706	1,512	0,504
22	2,019	0,157	0,935	1,000	0,982	0,544	1,448	0,544	1,438	0,177	0,195	0,698	1,602	0,404
23	2,020	0,151	0,930	1,001	0,980	0,560	1,432	0,560	1,422	0,157	0,183	0,690	1,692	0,304
24	2,021	0,145	0,925	1,002	0,978	0,576	1,416	0,576	1,406	0,137	0,171	0,682	1,782	0,204
25	2,022	0,140	0,920	1,003	0,976	0,592	1,400	0,592	1,396	0,117	0,159	0,674	1,872	0,104

Para n = 25:

$$A_2 = \frac{3}{n} \quad A_3 = \frac{3}{n} \quad A_4 = \frac{3}{n} \quad A_5 = \frac{3}{n} \quad A_6 = \frac{3}{n} \quad A_7 = \frac{3}{n} \quad A_8 = \frac{3}{n} \quad A_9 = \frac{3}{n} \quad A_{10} = \frac{3}{n}$$

$$B_1 = 1 + \frac{3}{n} \quad B_2 = 1 + \frac{3}{n} \quad B_3 = 1 + \frac{3}{n} \quad B_4 = 1 + \frac{3}{n} \quad B_5 = 1 + \frac{3}{n} \quad B_6 = 1 + \frac{3}{n} \quad B_7 = 1 + \frac{3}{n} \quad B_8 = 1 + \frac{3}{n} \quad B_9 = 1 + \frac{3}{n}$$

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais *M. E. S. Taquela* 5

Cartas de controle básicas para Variáveis

Carta X barra e R

$$LC = \bar{x} \quad LSC = \bar{x} + A_2 \bar{R} \quad LIC = \bar{x} - A_2 \bar{R}$$

$$LC = \bar{R} \quad LCS = D_4 \bar{R}$$

Lembrar que para carta de valores individuais

$$LC = \bar{x} \quad LSC = \bar{x} + 2,66(\overline{MR}) \quad LIC = \bar{x} - 2,66(\overline{MR})$$

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais *M. E. S. Taquela* 6



Cartas de controle básicas para Atributos

Tipos:

Unidades defeituosas - Binomial: p chart & np chart

Defeitos - Poisson: c chart e u Chart

Cálculo dos limites de controle

- O desvio padrão usado para calcular os limites do gráfico de controle para dados de variáveis é calculado a partir dos dados.
- O desvio padrão de equações binomiais e de distribuição de Poisson é dependente da média dos dados (não a dispersão de dados como com dados de variáveis).

Devido a isso, o desvio padrão para um controle de atributo que usa a distribuição binomial ou Poisson será derivado de uma fórmula baseada na média.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

7



Cartas de controle básicas para Atributos

Suposições inerentes

- Para os gráficos de controle baseados em distribuição binomial e Poisson, assume-se que, quando um processo está sob controle, as probabilidades subjacentes permanecem fixadas ao longo do tempo.
- Isso não acontece com muita frequência, o que pode ter um impacto forte nas distribuições binomial e de Poisson baseado nos limites da carta de controle quando o tamanho da amostra é grande

A implicação é que o processo está fora de controle na maioria das vezes, quando na realidade os limites de controle não refletem a verdadeira variabilidade de causa comum do processo.

Remédios

- Carta XmR da taxa de falha - quando o tamanho da amostra do subgrupo é similar
- Carta Z & MR - quando o tamanho do subgrupo difere (ver capítulo 10)
- Carta XmR considerando tempo entre falhas - baixas taxas de falha

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

8



Cartas de controle básicas para Atributos

Carta p: fração de não conformidade

$$p = \frac{x}{n}$$

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m p_i}{m}$$

Com m no mínimo 20 a 25

$$LC = \bar{p} \quad LSC = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$LIC = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

O LIC não pode ser inferior a zero. Se ocorrer limite-o a zero

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

9



Cartas de controle básicas para Atributos

Um dos problemas frequentes é que a amostra pode não ser igual. Então usa-se um tamanho médio para a amostra, e o valor de \bar{p} médio é calculado

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{\sum_{i=1}^m n_i}$$

Então os limites, tornam-se

$$LC = \bar{p} \quad LSC = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$$

$$LIC = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$$

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

10



Cartas de controle básicas para Atributos, Exemplo

Dados para os limites de controle tentativos, Exemplo das embalagens, $n=50$

# da amostra	Número de embalagens não Conforme, D	Fração amostral não conforme, \hat{p}	# da amostra	Número de embalagens não Conforme, D	Fração amostral não conforme, \hat{p}
1	12	0,24	16	8	0,16
2	15	0,30	17	10	0,20
3	8	0,16	18	5	0,10
4	10	0,20	19	13	0,26
5	4	0,08	20	11	0,22
6	7	0,14	21	20	0,40
7	16	0,32	22	18	0,36
8	9	0,18	23	24	0,48
9	14	0,28	24	15	0,30
10	10	0,20	25	9	0,18
11	5	0,10	26	12	0,24
12	6	0,12	27	7	0,14
13	17	0,34	28	13	0,26
14	12	0,24	29	9	0,18
15	22	0,44	30	6	0,12
Total=247					$\bar{p} = 0,2313$

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

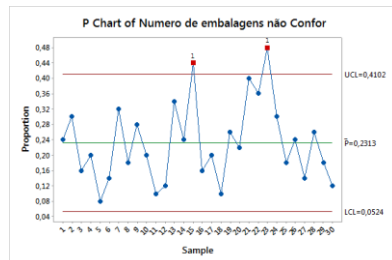
M. E. S. Taguella

11



Cartas de controle básicas para Atributos, Exemplo

Gráfico de controle para os dados iniciais do exemplo das embalagens



EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

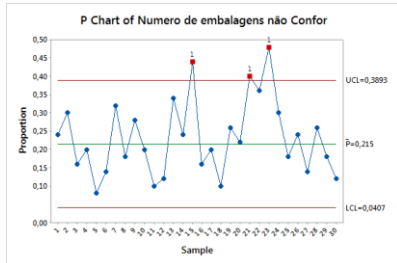
M. E. S. Taguella

12



Cartas de controle básicas para Atributos, Exemplo

Limites de controle revisados para os dados iniciais, excluindo as amostras 15 e 23



EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

13



Cartas de controle básicas para Atributos, Exemplo

Dados adicionais, Exemplo das embalagens, n=50

n da amostra	Número de embalagens não Conformes, D _i	Fração amostral não conforme, p _i	n da amostra	Número de embalagens não Conformes, D _i	Fração amostral não conforme, p _i
31	9	0,18	44	6	0,12
32	6	0,12	45	5	0,1
33	12	0,24	46	4	0,08
34	5	0,1	47	8	0,16
35	6	0,12	48	5	0,1
36	4	0,08	49	6	0,12
37	6	0,12	50	7	0,14
38	3	0,06	51	5	0,1
39	7	0,14	52	6	0,12
40	6	0,12	53	3	0,06
41	2	0,04	54	5	0,1
42	4	0,08		Total=133	p = 0,1108
43	3	0,06			

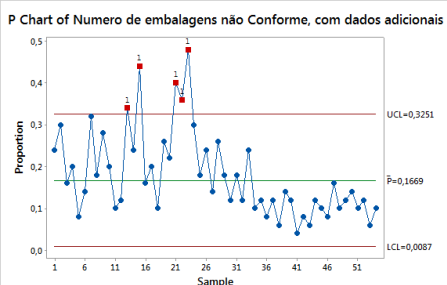
EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

14



Cartas de controle básicas para Atributos, Exemplo



EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

15



Cartas de controle básicas para Atributos

Carta np: número de itens não conformes em vez de se basear na fração não conforme

$$LC = n\bar{p} \quad LSC = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

$$LIC = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

Carta c: número de não conformidades por unidade (defeitos por unidade)

$$LC = \bar{c} \quad LSC = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LIC = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Em que \bar{c} é a média de ocorrências e LIC é zero se produzir um valor menor do que zero

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

16



Cartas de controle básicas para Atributos

Carta np: número de itens não conformes

$$LC = n\bar{p} \quad LSC = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

$$LIC = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

Carta c: número de não conformidades por unidade (defeitos por unidade)

$$LC = \bar{c} \quad LSC = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LIC = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Em que \bar{c} é a média de ocorrências e LIC é zero se produzir um valor menor do que zero

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

17



Cartas de controle básicas para Atributos

Carta u: uma alternativa a carta c, (defeitos por unidade) quando as amostras são de tamanhos diferentes. Os limites de controle inferior e superior são estimados para cada amostra.

Isto ocorre quando os defeitos são rastreados diariamente e o volume de produção varia. O tamanho n da amostra não é constante.

$$u = \frac{c}{n}$$

$$LC = \bar{u} \quad LSC = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$$

$$LIC = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n}$$

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

18



Cartas de controle básicas para Atributos

GRÁFICO p ou da Proporção (Fração) de itens Defeituosos, usada para a porcentagem de unidades não-conformes na amostra. As amostras não necessitam serem de tamanho constante. Aqui importa o **número de itens com algum defeito**, não importando quantos defeitos haja em cada item.

GRÁFICO np ou do Número Total de itens Defeituosos, para o número de unidades não-conformes na amostra. É de fácil manuseio por qualquer operador. As amostras devem obrigatoriamente ser de tamanho constante.

GRÁFICO c ou de Número de Defeitos por unidade ou grupo, para o número de não conformidades numa amostra. Também conhecida como Carta de Defeitos Diversos. As amostras devem ter tamanhos constantes.

GRÁFICO u ou de número médio de Defeitos por Unidade, para o número de não conformidades por amostra considerada como uma unidade. As amostras não necessariamente devem ter o mesmo tamanho.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

19



Cartas de controle básicas para Atributos

Gráfico	Linha Média	Limites de Controle
p	$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sum_{i=1}^m n_i}$	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$
np	$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
c	$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{m}$	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$
u	$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{\sum_{i=1}^m n_i}$	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$

Em que: m - número de amostras; n_i - tamanho de cada amostra i;
 c_i - número total de defeitos em todas as unidades da amostra i;
 d_i - número de peças defeituosas na amostra i.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

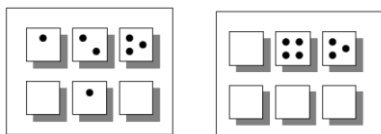
M. E. S. Taguella

20



Cartas de controle básicas para Atributos

Às vezes uma unidade do produto pode apresentar mais de um defeito e tem-se o interesse em controlar o número de defeitos por unidade, representado pela letra "c". A principal diferença com relação ao gráfico p, é que este último se utiliza da contagem de unidades defeituosas, não se preocupando com a quantidade de defeitos.



EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

21



Cartas de controle básicas para Atributos

Método 1

Estimativa "Longo prazo" de σ . A abordagem padrão para calcular o desvio padrão de uma amostra (s) é usar a equação:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Às vezes, os programas de computador aplicam um termo de correção de viés para a esta estimativa, dividindo a equação anterior por $c_4(n-1)$.

- Os valores tabulados para c_4 a $n-1$ podem ser determinados a partir da Tabela J.

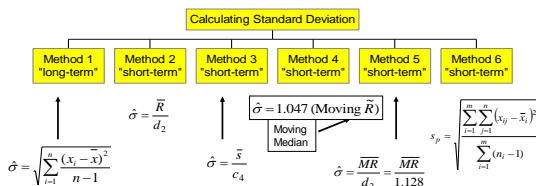
EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

22



Cálculo do Desvio Padrão



EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

23