

# Gráfico de Controle para Máquinas com Múltiplas Posições

Alberto Wunderler Ramos  
Departamento de Engenharia de Produção  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
[awramos@usp.br](mailto:awramos@usp.br)

## 1 Introdução

Há diversas situações na prática onde existem vários fluxos de produtos na produção. Este é o caso, por exemplo, de máquinas com múltiplos cabeçotes, moldes de plástico ou, então, linhas de processamento de material dispostas em paralelo, ou seja, onde o mesmo produto é fabricado simultaneamente em diferentes posições.

Um dos princípios básicos de formação de subgrupos recomenda que não se deve misturar produtos provenientes de diferentes fontes (ou fluxos), já que as amostras deixariam de ser homogêneas, incorporando diferenças sistemáticas dentro ao invés de entre amostras. Em termos de gráfico de controle para a média, os pontos ficarão todos muito próximos à linha central, evidenciando o problema de estratificação.

Conseqüentemente, seria necessário (em teoria) um gráfico de controle separado para cada fluxo de material. Isto, contudo, geraria uma quantidade absurda de papel, tornando o controle difícil e burocrático.

O gráfico de controle por grupos é uma alternativa que pode ser adotada nestas situações, pois permite o controle de múltiplos fluxos através de um único gráfico. Suas fórmulas de cálculo dos limites de controle são idênticas ao dos gráficos da média e amplitude ( $\bar{x}$ -barra e R), mas os dados são agrupados de modo diferente ao que se adota convencionalmente. Vejamos uma situação de aplicação deste.

## 2 Um Estudo de Caso

Em uma empresa, as peças passam por um forno contínuo. A cada turno é retirada uma amostra de 6 peças do forno (duas fileiras com três peças cada uma), que são medidas quanto a sua dureza. Como o forno possui resistências elétricas em somente um lado, desconfia-se que possa haver diferenças entre peças processadas na lateral esquerda, lateral direita e parte central da esteira transportadora.

- *obtenção de amostras e formação de subgrupos*: uma fonte de variação importante é a eventual diferença entre a dureza de peças processadas em diferentes posições do forno. Assim, este tipo de variação deve ser analisado através do gráfico  $\bar{x}$ -barra, enquanto que os demais tipos de variação são apontados no gráfico da amplitude. Muito embora a tendência natural de um indivíduo fosse calcular média e amplitudes misturando peças de diferentes posições do forno (lado esquerdo, centro e lado direito) esta não é a forma

correta de analisar os dados, já que se mistura dentro de uma mesma amostra diferentes fontes de variação.

- *amostras iniciais*: a Tabela 1 apresenta dados coletados de um mesmo tipo de peça, de produção freqüente, quanto a sua dureza. Uma análise prévia dos dados revela que há uma tendência de que peças produzidas no lado esquerdo do forno apresentem uma dureza superior às produzidas nas demais posições.

**Tabela 1 - Dureza de Peças**

Amostra	Fila	Esquerdo	Centro	Direito	Amostra	Fila	Esquerdo	Centro	Direito
1	A	115	110	107	7	A	112	106	104
	B	116	113	108		B	112	106	105
2	A	113	109	107	8	A	113	109	110
	B	118	110	111		B	115	108	108
3	A	114	109	108	9	A	115	111	109
	B	114	110	110		B	116	113	109
4	A	114	110	107	10	A	113	107	104
	B	115	110	109		B	113	108	105
5	A	112	108	105	11	A	113	110	108
	B	113	107	106		B	116	108	107
6	A	114	107	106	12	A	116	113	113
	B	115	111	104		B	118	108	110

- *cálculo das estatísticas básicas*: na Tabela 2, os dados foram rearranjados de modo a permitir o cálculo correto das médias e amplitudes de cada amostra. Perceba que cada amplitude calculada deste modo reflete a variação entre duas peças consecutivas no forno, numa mesma posição, enquanto que a comparação das médias apresenta eventuais diferenças entre posições do forno. A cada conjunto de valores obtidos (6 no total), dá-se o nome de grupo.

As estatísticas básicas ficam:

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}}{k} = \frac{3972,5}{36} = 110,35$$

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{58}{36} = 1,61$$

- *cálculo dos limites de controle*: este é feito da forma convencional, como nos gráficos para média e amplitude ( $\bar{x}$ -barra e R). O leitor que desconheça este pode pesquisar em MONTGOMERY (1996).

$$LSC_R = D_4 \cdot \bar{R} = 3,267 \cdot 1,61 = 5,26$$

$$LM_R = \bar{R} = 1,61$$

$$LIC_R = D_3 \cdot \bar{R} = \text{nenhum}$$

**Tabela 2 - Dados em Grupos**

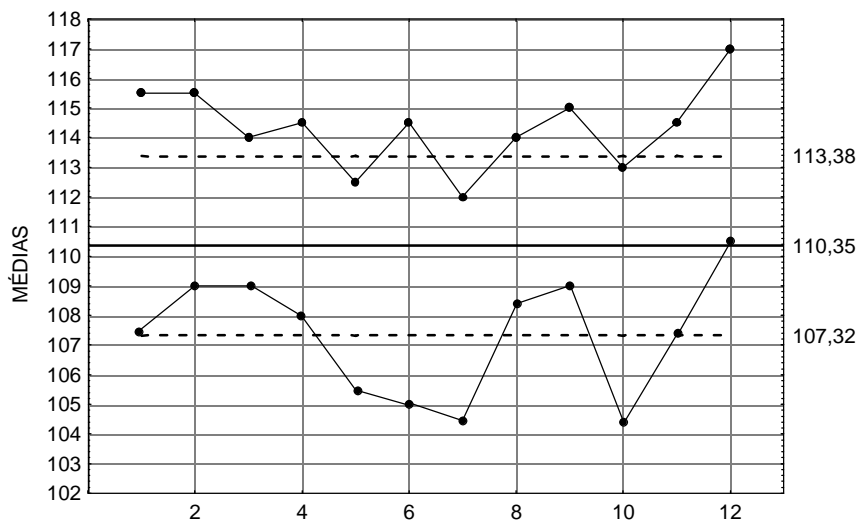
Grupo	Amostra	Posição	Fila A	Fila B	x-barra	R
1	1	E	115	116	115,5	1
	2	C	110	113	111,5	3
	3	D	107	108	107,5	1
2	4	E	113	118	115,5	5
	5	C	109	110	109,5	1
	6	D	107	111	109,0	4
3	7	E	114	114	114,0	0
	8	C	109	110	109,5	1
	9	D	108	110	109,0	2
4	10	E	114	115	114,5	1
	11	C	110	110	110,0	0
	12	D	107	109	108,0	2
5	13	E	112	113	112,5	1
	14	C	108	107	107,5	1
	15	D	105	106	105,5	1
6	16	E	114	115	114,5	1
	17	C	107	111	109,0	4
	18	D	106	104	105,0	2
7	19	E	112	112	112,0	0
	20	C	106	106	106,0	0
	21	D	104	105	104,5	1
8	22	E	113	115	114,0	2
	23	C	109	108	108,4	1
	24	D	110	108	109,0	2
9	25	E	115	116	115,5	1
	26	C	111	113	112,0	2
	27	D	109	109	109,0	0
10	28	E	113	113	113,0	0
	29	C	107	108	107,5	1
	30	D	104	105	104,5	1
11	31	E	113	116	114,5	3
	32	C	110	108	109,0	2
	33	D	108	107	107,5	1
12	34	E	116	118	117,0	2
	35	C	113	108	110,5	5
	36	D	113	110	111,5	3
<b>Total</b>					<b>3972,5</b>	<b>58</b>

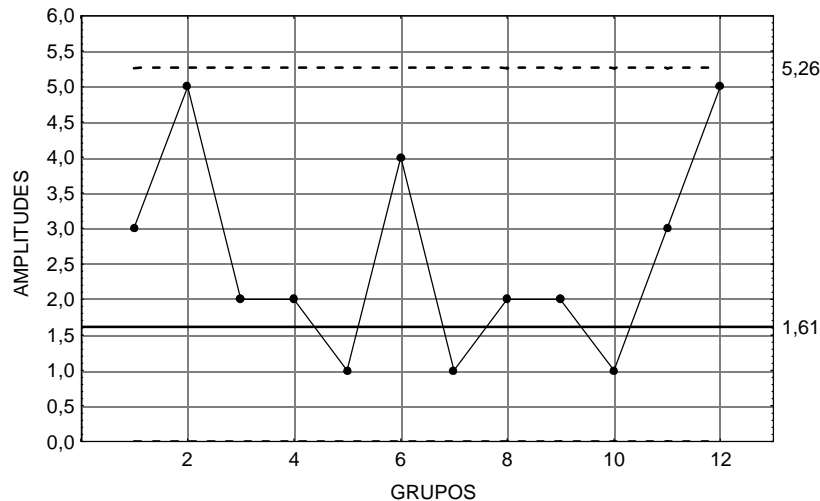
$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R} = 110,35 + 1,880 \cdot 1,61 = 113,38$$

$$LM_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} = 110,35$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R} = 110,35 - 1,880 \cdot 1,61 = 107,32$$

- *construção do gráfico*: os gráficos são similares aos da média e amplitude, mas no gráfico da amplitude (R) somente se marca a maior amplitude de cada grupo (pior caso) e, no gráfico da média (x-barra), somente são marcadas as maiores e menores médias de cada grupo, ou seja, as posições extremas do processo. A Figura 1 apresenta os gráficos por grupos com os dados da tabela 2.
- *análise e interpretação da estabilidade estatística*: a análise dos gráficos é feita tão somente se considerando se há ou não pontos fora dos limites de controle. Critérios de não-aleatoriedade tais como tendências, seqüências de pontos do mesmo lado da linha média, etc. não são válidos, pois os pontos nos gráficos são sempre o “pior caso” das posições avaliadas. Embora o gráfico R seja estável, o x-barra apresenta vários pontos fora dos limites de controle, evidenciando que o processo não é estável e, portanto, que existem diferenças estatisticamente significativas entre um lado e outro do forno. A suspeita original de que o lado onde a peça é processada afeta a sua dureza está confirmada.





**Figura 1 - Gráficos por Grupos**

### 3 Conclusões

Embora os livros sobre ferramentas tradicionais da qualidade normalmente não apresentem esta técnica, ela é extremamente útil em várias situações. Com o avanço da tecnologia, máquinas com múltiplas posições são cada vez mais lugar comum nas empresas.

Uma ferramenta mal selecionada pode causar diversos problemas no controle e aprimoramento da qualidade. Assim, o uso de gráficos de controle convencionais da média e amplitude ( $\bar{x}$ -barra e R) irá conduzir a conclusões erradas. O gráfico de controle para grupos é uma solução adequada.

### 4 Bibliografia

MONTGOMERY, D.C. *Intoduction to statistical quality control*. 3 ed. New York, Wiley, 1996

RAMOS; A. W. *CEP para processo contínuo e em bateladas*. São Paulo, Edgard Blücher, 2000.

\_\_\_\_\_. *CEP para pequenos lotes*. São Paulo, Edgard Blücher, 1995.

WHEELER, D.J. *Advanced topics in statistical process control*. Knoxville, SPC, 1996.

Alberto Ramos é Engenheiro, Mestre e Doutor em Engenharia de Produção pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). É também professor desta mesma instituição e da Fundação Vanzolini, onde lidera o Grupo de Especialistas em Metodologia 6 Sigma. Contatos: awramos@usp.br.