

Capítulo 9

Controle Estatístico de Processo e Ferramentas da Qualidade

Robert Wayne Samohyl

Sumário do Capítulo

9.1 Introdução	9.4 Conclusões: aproveitando ao máximo os gráficos de controle
9.1.1 Conceitos históricos	9.4.1 Aparelhos de medição não são confiáveis
9.1.2 Conceitos básicos	9.4.2 Dicas relacionadas diretamente aos pontos nos gráficos que soam alarmes
9.2 Medidas descritivas e gráficos básicos	9.4.3 A utilização correta da teoria estatística faz uma diferença substancial
9.2.1 Introdução	9.4.4 De teorias organizacionais da empresa e da fábrica
9.2.2 Média	9.5 ISO 9001-2000 e controle estatístico de processo
9.2.3 Mediana	
9.2.4 Medidas de variabilidade – desvio padrão	
9.2.5 Gráficos – Caixa das Medianas e Histograma	
9.3 Ferramentas de CEP – os gráficos de controle.	9.6 Questões para discussão e exercícios
9.3.1 Introdução à teoria básica de gráficos de controle	9.7 Referências
9.3.2 Gráfico para médias $\bar{X}$	
9.3.3 Gráficos de controle para variabilidade R	
9.3.4 Gráficos X_i individual e amplitude móvel (AM)	
9.3.5 Gráfico de controle p	
9.3.6 Gráficos para defeitos	
9.3.7 Gráficos dos Deméritos	
9.3.8 Resumindo: o gráfico de controle certo para a situação certa	

Capítulo 9 - Controle Estatístico de Processo e Ferramentas da Qualidade

9.1 Introdução

Um dos temas do livro é que o conceito de qualidade pode ser definido em varias maneiras, dependendo dos propósitos da análise, como “adequação ao uso” do Juran ou como “grau de excelência a um preço aceitável” do Broh, entre muitas outras, revisados no Capítulo 1. No Capítulo 1, foi visto a gestão da qualidade do ponto de vista do casamento entre o processo de produção e as exigências do consumidor em termos quantitativos. Neste capítulo 9, vamos enfatizar que as características importantes do produto ou do processo devem ser definidas concretamente e mensuradas como tamanho ou peso ou algum índice de desempenho, ou contadas como o número de defeitos numa peça ou operação, ou o numero de peças defeituosas. Neste capítulo, a suposição básica é que a qualidade será assegurada principalmente com a minimização da variabilidade das características importantes. Como Crosby sempre enfatizava, “qualidade é a conformidade às especificações”, e conformidade neste capítulo significa fazendo corretamente repetidas vezes as tarefas necessárias e usando material de qualidade consistente para conseguir resultados do processo de produção que refletem o desejo do consumidor.

9.1.1 Conceitos históricos

Como já foi revisto em capítulo 1, Walter Shewhart começou a colocar em prática nas fábricas alguns conceitos básicos em Estatística e Metodologia Científica na década de 1930 nos Estados Unidos. Ele foi o pioneiro da área de Controle Estatística de Processo (CEP). Hoje em dia, não há fábrica no mundo que não aplica pelo menos algumas ferramentas simples de CEP para a melhoria dos processos industriais. Nosso objetivo aqui é de apresentar uma introdução ao assunto destas ferramentas, esclarecendo alguns pontos teóricos e indicando como a sua utilização pode melhorar os processos da fábrica continuamente no sentido de reduzir custos e elaborar produto de melhor qualidade¹. A percepção extraordinária do Shewhart é de que a qualidade e a variabilidade são conceitos antagônicos no sentido de que onde tem muito de um terá necessariamente pouco do outro. Esta idéia funciona para ambos os processos e produtos. Uma tarefa dentro de um processo que leva um período de tempo irregular para completar pode causar tanta confusão na linha de produção como a irregularidade das medidas de uma peça, uma hora saindo grande demais e outra hora pequena demais. Foi assim que Shewhart entendeu que medindo, analisando e monitorando variabilidade é o campo do estudo estatístico, e que, através de aplicações de Estatística na fábrica, processos e produtos poderiam chegar a melhores níveis de qualidade. Por melhores níveis de qualidade, isso significa menor variabilidade em medidas do processo e do produto e mais exatidão em alcançar metas e alvos.

Ele propôs a aplicação da Metodologia Científica na linha de produção. Simplificando a terminologia, ele sugeriu que a metodologia poderia ser conceituada em quatro fases: (1) a

¹ Existem muitos manuais e livros textos nessa área, alguns mais avançados como os livros de Montgomery e Mittag, outros intermediários como o de Costa et al, e finalmente alguns mais simples como aquele de Sonia Vieira.

identificação da problemática e o planejamento de experimentos, (2) a experimentação em si, (3) a análise dos resultados dos experimentos e, finalmente, (4) a reação do gerente para melhorar o processo. As ferramentas do CEP apresentados neste capítulo estão inseridas nas quatro fases: (1) a identificação de pontos críticos na linha de produção e a escolha da ferramenta adequada e mais relevante para aplicar no ponto crítico, (2) a aplicação da ferramenta na linha de produção, (3) a análise dos dados e (4) a reação do gerente para melhorar o processo. É importante enfatizar aqui, como já foi enfatizado em quase todos os capítulos deste livro, que a busca por qualidade não acaba nunca, jamais tem fim, e conseqüentemente na realidade as quatro fases nunca terminam, mas sim, continuam em ciclo permanente.

9.1.2 Conceitos básicos

A idéia principal do CEP é que melhores processos de produção com menos variabilidade propiciam níveis melhores de qualidade nos resultados da produção. E surpreendentemente quando se fala em melhores processos isso significa não somente qualidade melhor, mas também custos menores. Os custos, assunto amplamente discutido em capítulo 10 e apenas mencionado aqui, diminuem principalmente em função de duas razões: a inspeção por amostragem e a redução de rejeito.

Um dos pilares dos estudos em Estatística é a amostragem. Populações (na fábrica, o engenheiro utiliza a palavra “lotes”) em geral são grandes demais para ser analisadas em grandes detalhes item por item. Em muitos casos a inspeção a 100% é uma regra da fábrica, mas na realidade este procedimento não funciona adequadamente. Imagine o operador que tem a responsabilidade de verificar o nível de preenchimento de um lote de garrafas de cerveja. O lote tem 50.000 unidades. Depois de inspecionar apenas 100 garrafas, é muito provável que o operador já não está mais pensando em níveis de preenchimento, mas sim no próximo jogo do seu time de futebol, na próxima oportunidade de tomar uma cerveja, ou na próxima namorada. No final, inspeção a 100% tem custos elevados e resultados péssimos. A seleção de amostras de tamanho muito menor que a população enxuga os custos e paradoxalmente acaba representando melhor as características da população. Amostragem também é necessária quando a inspeção necessita da destruição do item amostrado. Neste caso poucos itens vão para o laboratório para sofrer a verificação dos técnicos. Mais sobre amostragem será visto nas próximas seções quando as ferramentas são elaboradas.

Uma segunda razão pela qual a aplicação de CEP impulsiona os custos para baixo é que o número e percentagem de peças defeituosas produzidas na fábrica vão diminuir com as melhorias na linha de produção. Portanto, com menos refugo e menos retrabalho o custo por peça produzida vai diminuir. Enfatiza-se que existe somente uma razão para utilizar CEP na fábrica, a saber, aumentar o resultado financeiro da empresa, se possível no curto prazo, mas também, e talvez mais importante, no longo prazo. No entanto, CEP não é nenhum milagre e conseqüentemente ele deve ser abordado na empresa como qualquer projeto de investimento nos quais os custos são contabilizados e os benefícios previstos e medidos. Veja o próximo capítulo sobre a abordagem econômica de qualidade que investiga em mais detalhes considerações sobre os benefícios e custos empresariais.

No capítulo 7 sobre gerenciamento de processos, já foi visto várias maneiras de resolver o problema de descrever um processo e a identificação de pontos críticos. É muito comum nas

fábricas que processos industriais não são otimizados no sentido de ser caracterizados por altos níveis de eficiência, no entanto, dentro do CEP existem ferramentas para monitorar o processo e, portanto, melhorá-lo. O monitoramento tem como requisitos amostragem feita periodicamente, e tamanho da amostra adequado. Este assunto será abordado nas seções sobre gráficos de controle.

A idéia de controlar um processo é totalmente diferente da idéia de inspecionar peças para identificar peças não-conformes, embora os dois procedimentos utilizem em parte as mesmas ferramentas estatísticas. A inspeção de peças individuais tem como objetivo a eliminação de peças de baixa qualidade que não alcançam as expectativas do consumidor e não devem ser colocadas no mercado. Com constante inspeção do produto ao longo da linha de produção, a empresa pode identificar produto que precisa de retrabalho ou até mesmo rejeição total. Neste caso, a fábrica está gastando desnecessariamente para corrigir erros os quais, numa fábrica melhor organizada, não aconteceriam com tanta frequência. Numa fábrica melhor, é feita a coisa certa na primeira vez. Uma fábrica realmente eficiente não exige inspeção a toda hora porque tem muita confiança que o produto já está saindo dentro das especificações. É muito comum na indústria que a fabricação de peças não conformes ocorre porque os processos da empresa são instáveis (irregulares) no ponto de proporcionar produto fora das especificações. Em outras palavras, a fábrica não está controlando processo para melhorar constantemente a qualidade do produto. Para controlar e estabilizar os processos da empresa utilizam-se as ferramentas em CEP necessitando apenas pequenas amostras sempre muito menores que os lotes. Assim, as investigações do gerente estarão em direção das grandes causas atrás das grandes irregularidades da linha de produção. Cada vez que uma nova causa é identificada e documentada para análise e, portanto, eliminação, o processo de produção é estabilizado e qualidade garantida e melhorada.

As causas podem ser divididas em três tipos básicos. Uma causa especial é assinalável e em geral é única, no entanto suficientemente grande para produzir perturbações fortes no processo. É um evento que ocorre uma vez ou ocasionalmente. É imprevisível. Estas causas têm que ser eliminadas ou, se por alguma razão não são elimináveis, então sua influência pode ser reduzida por ações compensatórias. Exemplos de causas especiais são: trovoadas e relâmpago, vento de uma janela deixada aberta, funcionário intoxicado, treinamento onde faltou um ensinamento importante, uma substância estranha na matéria prima, um atraso na chegada dos funcionários porque o ônibus quebrou, entre outros.

Uma outra causa é chamada estrutural. Como a causa especial, a estrutural é também eliminável ou compensável, mas a diferença é que esta causa ocorre periodicamente. Quando o período entre ocorrências é relativamente grande, a causa estrutural se confunde com uma causa especial, mas se o gerente for atento, ele vai acabar percebendo sua natureza repetitiva. Para entender melhor o conceito, um pequeno exemplo é apresentado em seguida. Um gerente já entendeu que para algumas segundas feiras, e não todas, a produtividade da fábrica é sofrível. Então ele mandou avisar que a ocorrência de preguiça na fábrica não seria mais tolerada. Infelizmente, o tal da preguiça continuou e até mesmo após várias advertências. O gerente notou que a sua própria produtividade nestas segundas feiras também foi muito baixa. As vezes é necessário procurar as causas as quais causam as causas estruturais. O problema é que foram segundas feiras que caem depois do grande clássico de domingo da capital. Em termos de produtividade, este tipo de segunda-feira é intrinsecamente um dia diferente que

todas as outras segundas feiras, independentemente de quem ganha ou quem perde o jogo. Resultado: hoje em dia há um consenso na fábrica de que, embora atraso não seja tolerado, segunda feira de manha depois do clássico é um período na fábrica que exige uma gerência diferenciada com mais café, sucos de vários tipos e dois ou três períodos curtos de exercícios e alongamento. A causa estrutural assim não é eliminada porque a tradição de futebol jamais desaparecerá no Brasil, mas sim, é compensada por normas de gerenciamento mais sensatas.

A última causa é chamada comum. Estas causas são relativamente pequenas, mas ocorrem quase sempre e em grande número. É o acúmulo destas causas num certo período de tempo que dar existência à variável aleatória. Por que uma jogada de uma moeda justa pode as vezes cair por caras e as vezes por coroas? A realidade é que tantas coisas podem afetar a jogada de uma moeda justa, e cada uma é tão pequena, que uma análise científica deste resultado é praticamente impossível. As ferramentas de CEP não são apropriadas em geral na análise e eliminação de causas comuns. E embora as causas comuns possam ser reduzidas, elas sempre vão existir enquanto a natureza na sua totalidade guarda uma diversidade tão grande e tão incompreensível pelo ser humano. A redução destas causas vem apenas com muito sacrifício em tempo e recursos. Para diminuir irregularidades das causas comuns é necessário investimentos em novas e melhores máquinas, melhor matéria prima, treinamento intensivo, um ambiente de trabalho mais confortável, entre outras. Neste caso qualidade e custo andam juntos. Assim, é fácil entender por que o carro popular custa barato e o carro de famosos jogadores de futebol custa cem vezes mais. Exemplos de causas comuns são: uma fábrica no sertão do Ceará sem ar condicionado, matéria prima de baixa qualidade mas de baixo preço, gerente de produção sem nenhum estudo na área de produção, maquinaria velha, a combinação errada de ingredientes num processo químico, entre outras.

Com estes conceitos básicos do CEP, são introduzidas algumas ferramentas simples para melhorar qualidade que se encontram em utilização generalizada na manufatura e em algumas instancias na administração.

9.2 Medidas descritivas e gráficos básicos

9.2.1 Introdução

Quando o gerente de produção mede e analisa uma característica, por exemplo, da linha de produção, uma característica física do produto ou uma medida do desempenho do processo, ele tem em mente a melhoria do processo. Ele vê uma combinação dos insumos do processo, a atuação dos operadores juntos com a combinação dos insumos e as atividades das máquinas, e finalmente o produto final. A visão do gerente é de aspectos concretos da sua linha de produção e em termos sistêmicos.

O Estatístico por outro lado vai ver este mesmo processo como algo mais abstrato, como um gerador de números. Ele vai ver se os números gerados são centrados e simétricos ao redor de uma tendência central, se existir ou não alguns dados muito discrepantes dos outros, se tiver ou não relações entre variáveis. É fácil ver que o gerente trabalhando sem a ajuda do Estatístico não vai captar todas as informações disponíveis nos dados, e o Estatístico sozinho não vai saber onde ele deve concentrar seus esforços para melhorar o processo. Portanto, o Gerente e o Estatístico têm muito para ganhar trabalhando juntos.

9.2.2 Média

Em qualquer área de investigação onde números aparecem com frequência, os profissionais da área estudam maneiras e metodologias gráficas e estatísticas para expressar estes números mais clara e mais resumidamente. Isso é um dos objetivos principais do trabalho dos gerentes e estatísticos. Por exemplo, existem várias maneiras de medir a tendência central dos dados, e nenhuma maneira é necessariamente o melhor, tudo depende da situação. O cálculo de uma tendência central é importante porque ela consegue condensar uma série de dados em um único número. Certamente a mais popular é a média, a soma de uma série de dados dividida pelo número de dados na soma. Na tabela 1, são colocadas 50 medidas em milímetros do comprimento de uma peça, por sinal, uma das características essenciais da peça. Uma tabela de números não é nada interessante para o engenheiro. Por outro lado, a média das medidas da tabela 1 é 100,3242 ($= (102,2303 + 102,1677 + 101,7797 + \dots)/50$), e o engenheiro agora pode saber se o produto está sendo fabricado dentro do desejado. Um problema que pode ocorrer às vezes é que a média perde a sua representatividade quando, entre os números, existem valores muito diferentes dos outros.

102,2303	102,1677	101,7797	101,2758	102,101
99,07002	99,00504	102,17	102,2234	100,9884
99,07883	99,07308	100,8274	101,7727	98,31031
97,81847	101,7754	101,9902	98,67673	101,6068
101,9006	97,96206	99,18209	101,1778	97,87613
102	101,4796	98,25356	100,4282	100,6361
101,7968	101,9953	101,81	98,94016	97,96781
100,8938	98,47704	98,13994	101,4083	97,92926
98,57172	102,0904	102,5566	101,9002	100,4101
101,2592	98,47636	100,3549	98,25293	98,14255

Tabela 1 – Comprimento em mm

Valores discrepantes levam a média para um valor muito longe da tendência central dos dados, e não muito perto dos outros números. Uma maneira de resolver o problema da distorção seria simplesmente eliminando estes números, no entanto o Estatístico não recomenda este caminho por causa de certo grau de arbitrariedade. Por exemplo, o gerente pode sentir uma necessidade de eliminar o valor 102,5566 como o maior dos números, mas para qual razão? Na próxima seção é apresentada uma medida de tendência central para dados assimétricos.

9.2.3 Mediana

Para resolver a distorção de números discrepantes e assimétricos, utiliza-se da mediana, o número no meio dos números (ou a média dos dois números no meio), neste caso 100,8606 ($= (100,8274 + 100,8938)/2$). Numa relação de números ordenados do maior para o menor existe um número que separa todos os números em dois grupos iguais, os números maiores que a mediana e os números menores. Na lista dos 50 números, há 25 números maiores que 100,8606 e 25 números menores. Pode notar que quando o número de dados é ímpar a mediana é exatamente o número no meio dos números ordenados, sem a necessidade de calcular a média dos dois números no meio. Os analistas argumentam que a mediana é melhor do que a média para representar a tendência central dos números na presença de dados muito diferentes que os outros. Isso ocorre porque a mediana é insensível aos valores muito

grandes ou muito pequenos. Se for alterado o valor de 102,5566 para 1.025.566,0 o valor da mediana não muda, porque com a mediana de 100,8606, ainda tem a metade dos dados por cima e a metade dos dados por baixo. A diferença numérica entre a mediana e a média no exemplo ($100,8606 - 100,3242 = 0,4564$) pode ser considerada razoavelmente grande por algum engenheiro considerando a variabilidade pequena dos números, e significaria que a média é realmente distorcida como medida de tendência central, levando o engenheiro a utilizar a mediana. Partindo da mediana, os quartis são calculados. Com a mediana os dados foram divididos em dois subgrupos, acima e abaixo da mediana. Para cada subgrupo encontra-se sua própria mediana e esta mediana secundária se chama de quartil. Obviamente tem um quartil inferior, o primeiro quartil, e um quartil superior, o terceiro quartil. Para completar o raciocínio, pode chamar a mediana de segundo quartil. Os quartis dividem os dados em quatro grupos distintos, cada grupo tem exatamente um quarto dos dados. No exemplo na tabela 1, cada um dos dois subgrupos tem aproximadamente 50/4 elementos e os quartis são fáceis de encontrar: quartil inferior de 98,5717 e quartil superior de 101,8100. Os quartis podem ser utilizados também para definir a variabilidade dos dados, assunto detalhado nos próximos parágrafos.

9.2.4 Medidas de variabilidade – desvio padrão

Igualmente importante com as medidas de tendência central são as medidas de dispersão, representando como os dados se espalham ao redor da média. Quando os números são sempre próximos à média, isso significa que a tendência central representa bem os dados. No entanto, se alguns números ficam longe da média, então a média não representa muito bem todos os dados. A idéia de variabilidade é importante na área de engenharia de qualidade, como foi destacado na introdução do capítulo, porque oferece uma definição operacional para qualidade, uma definição que daria para medir e analisar, e discutir com os colegas. Peças fabricadas que exibem mensurações muito espalhadas não têm qualidade, pois muitas peças vão acabar rejeitadas e retrabalhadas, significando custos altos de fabricação e uma posição fraca em termos da competição empresarial do mercado.

O desvio ao redor da média é definida como a diferença entre um número individual e a média de todos os dados. Por exemplo, a tabela 2 mostra dados de tempo gasto pela empresa para solucionar problemas dos clientes do momento do recebimento da queixa até a solução é conferida. A média de tempo gasto é 182,89 minutos, um pouco mais que 3 horas. O primeiro desvio calculado (na terceira coluna) é $-82,89 = 100 - 182,89 = \text{desvio } (X_i - \bar{X})$. É uma tradição dos estatísticos de colocar na expressão do desvio a média depois do dado individual. Assim, quando a média é menor que o dado individual o desvio é positivo e vice-versa. É muito interessante calcular a média dos desvios que representaria a variabilidade dos dados. Como é demonstrada na tabela 2, a soma dos desvios é sempre igual a zero, é uma fatalidade matemática, e, portanto a média dos desvios também é sempre igual a zero. Então a questão é como calcular a média dos desvios numa maneira consistente e esclarecedora. A quarta coluna da tabela 2 contém os mesmos desvios da terceira coluna, mas sem o sinal do desvio, chamado o módulo ou valor absoluto do desvio. A média dos desvios nesta coluna é 75,83.

Por razões históricas e por causa de algumas características matemáticas difíceis de compreender, mas muito importante para o teórico, a média do desvio sem sinal não é tipicamente utilizado em estudos estatísticos. Para resolver o problema do sinal do desvio, é preferível utilizar o quadrado do desvio, também sem sinal, todos somados como antes e a

média deles calculada $(\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1})$. A média dos quadrados dos desvios leva o nome técnico de variância. Para chegar a uma medida do desvio médio então é necessário aplicar a raiz quadrada a variância. Esse desvio médio tem outro nome em estatística, o desvio padrão. Para os dados da tabela 2, o desvio padrão é 94,99. Em determinadas situações, a soma dos quadrados não é dividida pelo número de dados, mas sim por um número chamado grau de liberdade, um conceito discutido mais tarde. Um conceito muito importante para os gráficos de controle é o desvio padrão de uma coleção de médias, e leva o nome erro padrão. É igual ao desvio padrão dividido pela raiz quadrada do tamanho da amostra.

No final, considerando o tamanho da média (182,89), a diferença entre o desvio absoluto médio (75,83) e o desvio padrão (94,99) não é muito grande. Isso sugere que as duas medidas são apropriadas para medir a variabilidade dos dados, mas como já foi colocado acima, o desvio padrão é preferível.

Na área de Controle Estatístico de Processo (CEP) há mais uma maneira de calcular o desvio padrão, através de uma fórmula desenvolvida pelo próprio Shewhart para facilitar o cálculo no chão da fábrica. Como será visto nas próximas seções, a utilização de amostras muito pequenas é a regra para um grande conjunto de gráficos de controle. Por exemplo, o operador pode estar fazendo mensurações de apenas 5 peças por hora (tamanho da amostra $n = 5$) de lotes muito maiores. É então calculada a amplitude de cada amostra e calculada a média das amplitudes ($\bar{R}$). Shewhart desenvolveu uma tabela de coeficientes d_2 , mostrados na tabela 3, com o poder de transformar $\bar{R}$ em desvio padrão dividindo um por outro: $\frac{\bar{R}}{d_2}$. Nota-se que o valor de d_2 aumenta com o tamanho da amostra. Os outros coeficientes nas outras colunas da tabela são também muito importantes e serão utilizados mais tarde.

Código da reclamação	Tempo gasto em minutos	Desvio ao redor da média	Módulo do desvio (valor absoluto)	Desvio quadrado
123	100,00	-82,89	82,89	6871,36
872	216,01	33,11	33,11	1096,46
478	113,42	-69,47	69,47	4826,37
123	287,33	104,43	104,43	10906,22
301	221,47	38,58	38,58	1488,33
261	194,95	12,06	12,06	145,42
222	161,55	-21,35	21,35	455,70
182	325,89	142,99	142,99	20447,30
143	292,62	109,73	109,73	12040,82

104	266,38	83,49	83,49	6970,70
164	106,19	-76,70	76,70	5882,76
158	307,56	124,66	124,66	15541,31
169	255,49	72,59	72,59	5269,52
179	203,39	20,50	20,50	420,24
190	148,71	-34,19	34,19	1168,83
200	17,00	-165,89	165,89	27520,70
211	66,78	-116,11	116,11	13481,55
222	165,34	-17,55	17,55	308,07
232	95,20	-87,70	87,70	7690,68
243	102,95	-79,94	79,94	6390,97
253	427,43	244,53	244,53	59796,28
264	186,34	3,45	3,45	11,91
275	82,04	-100,85	100,85	10171,11
285	59,00	-123,89	123,89	15349,64
296	36,00	-146,89	146,89	21577,74
306	168,89	-14,00	14,00	195,97
317	207,95	25,05	25,05	627,58
328	217,94	35,05	35,05	1228,18
338	225,79	42,90	42,90	1840,23
349	227,19	44,30	44,30	1962,51
Media =	182,89	0,00	75,83	8722,82
Amplitude =	410,43		Raiz da média do desvio quadrado =	93,40
			Desvio padrão =	94,99

Tabela 2 - Minutos corridos até solucionar a reclamação do cliente

Tamanho da amostra = n						
n =	d_2	D1 (DP)	D2 (DP)	D3 (R)	D4 (R)	A2 ($\bar{X}$)
2	1,128	0	3,686	0	3,267	1,880
3	1,693	0	4,358	0	2,575	1,023
4	2,059	0	4,698	0	2,282	0,729

5	2,326	0	4,918	0	2,115	0,577
6	2,534	0	5,078	0	2,004	0,483
7	2,704	0,205	5,203	0,076	1,924	0,419
8	2,847	0,387	5,307	0,136	1,864	0,373
9	2,970	0,546	5,394	0,184	1,816	0,337
10	3,078	0,687	5,469	0,223	1,777	0,308
11	3,173	0,812	5,534	0,256	1,744	0,285
12	3,258	0,924	5,592	0,284	1,716	0,266
13	3,336	1,026	5,646	0,308	1,692	0,249
14	3,407	1,121	5,693	0,329	1,671	0,235
15	3,472	1,207	5,737	0,348	1,652	0,223
20	3,735	1,548	5,922	0,414	1,586	0,180
25	3,931	1,804	6,058	0,459	1,541	0,153

Tabela 3 - Coeficientes para os gráficos de controle

Outra medida de variabilidade é o desvio quartílico, a diferença entre o quartil inferior e o quartil superior já estudado anteriormente na seção sobre a mediana. Voltando para a tabela 1 sobre o Comprimento em mm, pode ser visto que o desvio quartílico é igual a $3,2383 = 101,8100 - 98,5717$. Como a mediana, o desvio quartílico tem a vantagem de não ser afetado por valores muito discrepantes. No entanto, a sua utilização não é muito comum, constando em alguns pacotes de software especializado, mas na prática desprezado a favor do desvio padrão. No entanto, no famoso gráfico da caixa das medianas (box-plot, em inglês) a sua presença é implícita.

Resumindo em termos do exemplo sobre as reclamações, o gerente da empresa possui pelo menos duas medidas para analisar o desempenho da empresa frente aos clientes com queixas: a média do tempo gasto para solucionar a reclamação e o desvio padrão do tempo. Um procedimento prático pode ser colocado nos manuais da empresa, onde semanalmente médias e desvios padrões são calculados e tendências analisadas e providências tomadas se forem necessárias. Por exemplo, a média tendendo a subir ou o desvio padrão aumentando através do tempo são sinais claros de deterioração do desempenho da empresa e deve causar preocupação na parte da gerência. Os dados individuais devem sofrer também uma análise apurada, especialmente dados que se destacam longe dos outros.

9.2.5 Gráficos – Caixa das Medianas e Histograma

Sem a menor dúvida, a melhor maneira de analisar uma série de dados é graficamente. A tentativa de ver padrões e tendências em uma relação de dados escritos em uma tabela certamente resultará em fracasso especialmente quando o número de dados é grande. A figura 1 mostra os dados da tabela 2, o tempo gasto em resolver problemas dos clientes. Entre vários outros pontos, pelo menos dois são destacados, o ponto máximo no dia 21 e o ponto mínimo no dia 16. O que aconteceu nestes dois dias? Será que os eventos que ocorreram no dia 16 são controláveis e que podem ser repetidas nos outros dias para tirar proveito da situação? E os

eventos do dia 21 que causaram um péssimo desempenho, será que eles podem ser evitados no futuro?

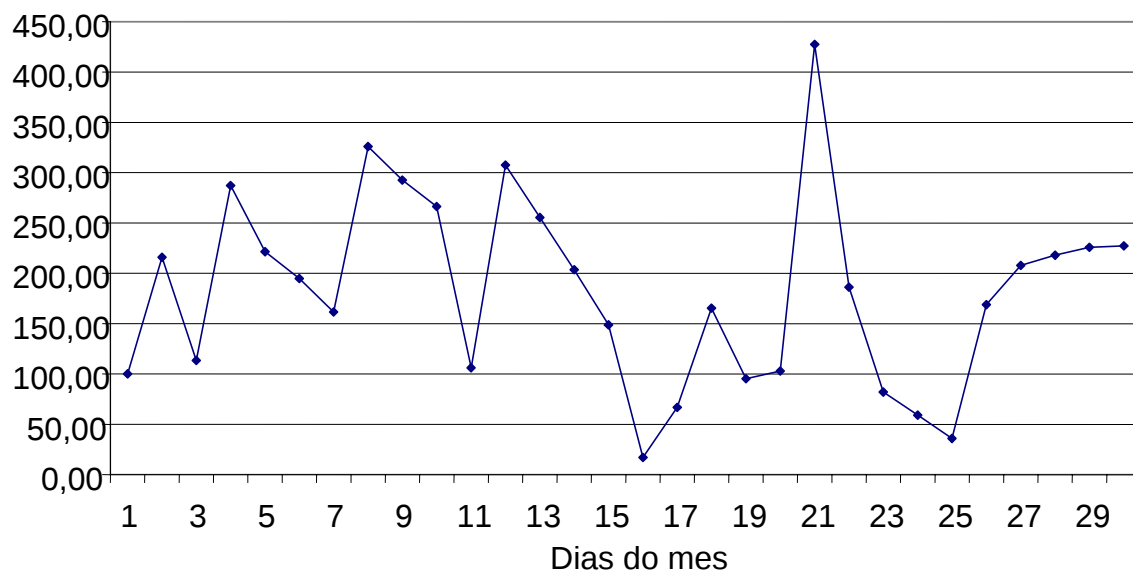


Figura 1 - Tempo gasto em resolver problemas dos clientes

Um gráfico que reúne as informações da mediana e dos quartis em uma maneira fácil para entender é a caixa das medianas.

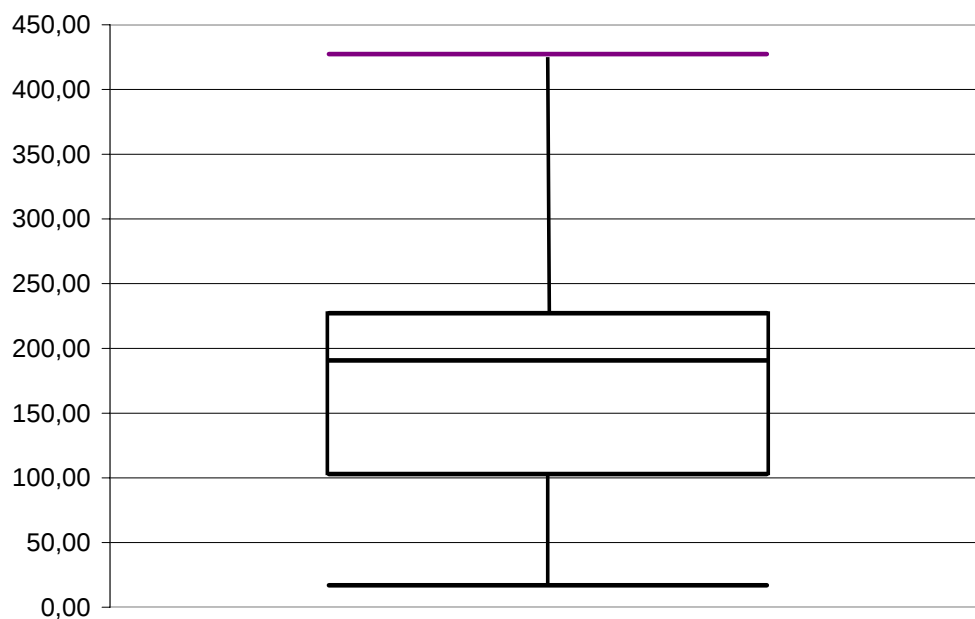
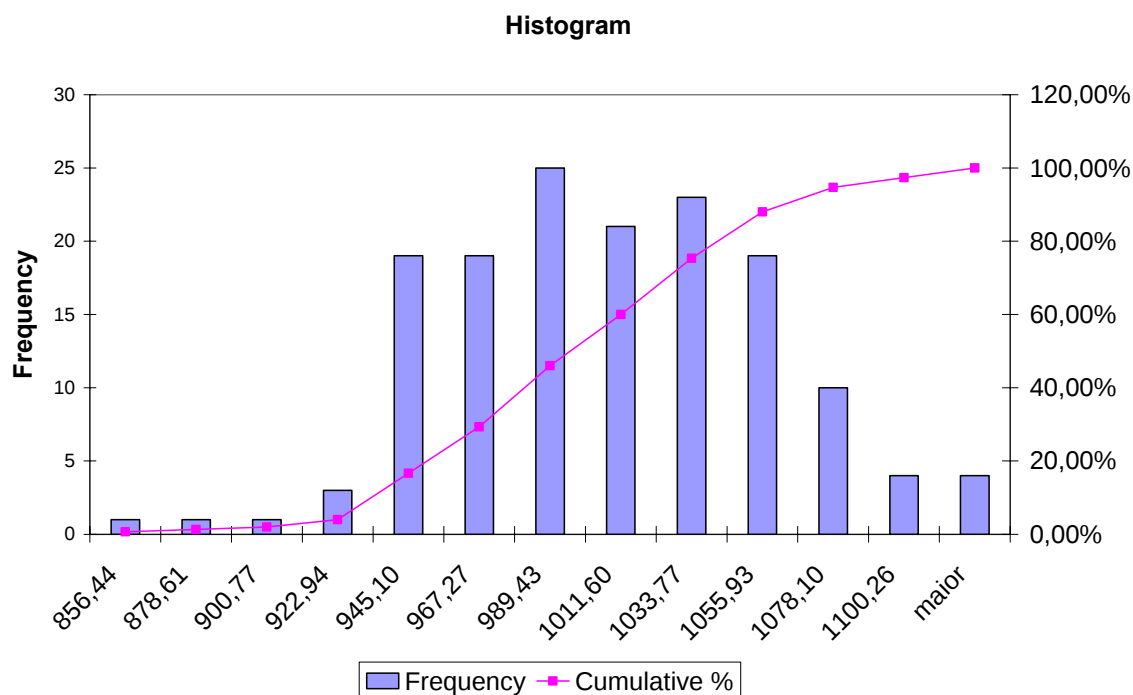


Figura 2 - Caixa de medianas de tempo gasto nas reclamações na tabela 2.

As duas linhas horizontais representam os valores mínimos e máximos de toda a série, ou em outras palavras, a distância entre elas é a amplitude geral dos dados. A caixa no meio da figura representa o quartil inferior e o superior, onde fica agrupada a metade central dos dados, e a distância entre estes valores é o desvio quartílico. Finalmente, a linha dentro da caixa é a mediana. Pode ver que os dados estão distribuídos com assimetria, tendo mais valores baixos que altos. Os valores altos são menos freqüentes, mas merecem uma investigação cuidadosa para apurar suas causas especiais. Valores altos, que representam um péssimo desempenho da empresa em solucionar problemas dos clientes, são críticos para o relacionamento da empresa com o seu público, e a gerência deve garantir que não acontecem no futuro. Muitas empresas montam a figura para importantes características operacionais em uma base mensal ou semanal facilitando o monitoramento da característica através do tempo. É fácil ver se a característica está no alvo ou evoluindo numa maneira satisfatória, e se a variabilidade dos dados está aumentando (piorando) ou diminuindo (melhorando).

Finalmente apresenta-se o histograma, um gráfico que tem todas as boas características da caixa de medianas, mas exibe muito mais informação sobre a distribuição dos dados. Foram amostrados em um laticínio 150 sacos de leite contendo por lei 1 litro do alimento. O histograma é um retrato dos dados na Tabela 4, logo em seguida.



Fig

Figura 3 - Histograma de medidas de sacos de leite de um litro.

Classes até	Frequência	Cumulativa %
-------------	------------	--------------

856,44	1	0,67%
878,61	1	1,33%
900,77	1	2,00%
922,94	3	4,00%
945,10	19	16,67%
967,27	19	29,33%
989,43	25	46,00%
1011,60	21	60,00%
1033,77	23	75,33%
1055,93	19	88,00%
1078,10	10	94,67%
1100,26	4	97,33%
maior	4	100,00%

Tabela 4 - Frequências de medidas em ml de sacos de leite de um litro.

Na primeira linha da tabela 4, dos 150 sacos investigados um saco entra na classe de pesos de zero a 864,44 ml. Na próxima linha, tem a classe de sacos entre 864,44 ml a 878,61 ml, e tem de novo um saco. A frequência mais popular onde caíram 25 sacos de leite é a de 967,27 a 989,43. A última coluna da tabela 4 mostra a percentagem cumulativa de frequências até o tamanho daquela classe. Por exemplo, de todos os sacos amostrados, 16,67% tem volume até 945,10 ml. É claro que isso significa que aproximadamente 83% dos sacos têm tamanho maior.

Toda a informação da tabela 4 também consta na figura 3, mas em uma maneira mais clara e mais fácil, graficamente. Por sinal, a forma do histograma, com frequências altas no meio dos números e frequências mais baixas para números distantes da tendência central é muito comum. Este formato da figura é a base da famosa distribuição normal, e poderia dizer que sem a distribuição normal não existiria a área de estudo chamado Estatística. O histograma apresenta em um jeito quase completo a tendência central dos dados e a variabilidade, melhor que a caixa das medianas. A ferramenta é utilizada para analisarem dados através do tempo. Por exemplo, um engenheiro trabalhando na linha de produção utilizaria o histograma periodicamente para verificar se a medida está no alvo e a dispersão dos dados não está escapando de um controle adequado. Se ocorrer discrepâncias, elas devem ser investigadas e o processo corrigido. Muitas vezes o analista não utiliza a frequência absoluta no eixo vertical como foi mostrado na figura 3, mas sim a frequência em termos percentuais. Assim, cada coluna do histograma representa uma percentagem da amostra, e, se a amostra for representativa, da população também. A soma de todas as percentagens é naturalmente 100%.

Neste capítulo, não serão elaboradas as distinções entre as várias distribuições de probabilidade; esse assunto é tratado em trabalhos mais avançados como nos livros já comentados na introdução ao capítulo. É suficiente dizer que a análise das distribuições de probabilidade é extremamente importante em uma segunda fase de implantação das ferramentas na unidade, na medida que os processos de monitoramento são aperfeiçoados.

9.3 Ferramentas de CEP – os gráficos de controle

9.3.1 Introdução à teoria básica de gráficos de controle

Em termos gerais, o gráfico de controle é utilizado na detecção de alterações inusitadas de uma ou mais características de um processo ou produto. Em outras palavras, é uma ferramenta estatística que desperta para a presença de causas especiais grandes na linha de produção. O paradigma tradicional é o processo industrial analisado através do tempo (séries temporais), mas hoje em dia a ferramenta já se espalhou para processos administrativos e de serviços, e para dados classificados como seções cruzadas (por exemplo, os setores na empresa no mesmo ponto no tempo). O gráfico consiste em a plotagem de três linhas e os pontos que representam as médias de pequenas amostras (chamados subgrupos racionais), cada de tamanho n ($= 1, 4, 9, 16, 1000$, por exemplo), de mensurações periódicas de alguma característica importante de um processo (peso, comprimento, volume, etc.), ou o número ou percentagem de peças defeituosas ou número de defeitos. As três linhas representam dois limites de controle, um superior (LCS) e outro inferior (LCI), e uma linha no meio a qual é a média da variável ou o alvo da característica. Tradicionalmente, as linhas de controle ficam numa distancia de três desvios padrão da média ou alvo do processo. O uso de três é um pouco arbitrário, mas na prática funciona bem na maioria dos casos. Os limites definem uma área razoavelmente grande que vai evitar alarmes falsos. O engenheiro que gasta seu precioso tempo correndo atrás de causas especiais que não existem certamente não está sendo bem empregado. O desvio padrão utilizado é o desvio padrão das médias (erro padrão), teoricamente o desvio padrão da população dividido pela raiz quadrado do tamanho da amostra -- $\sigma/\sqrt{n}$. Em termos estatísticos, os dois limites de controle definem um intervalo de confiança com nível de confiança de 99,73%. O número significa que um alarme falso pode ocorrer uma vez em 370 subgrupos. É o preço pago pela utilização de amostragem, mas pelo menos a possibilidade de um alarme falso é muito pequena. Se forem tiradas 16 amostras por dia numa fábrica, o alarme falso iria ocorrer apenas uma vez cada em 23 dias, um preço muito razoável considerando o grande valor relacionado aos gráficos de controle.

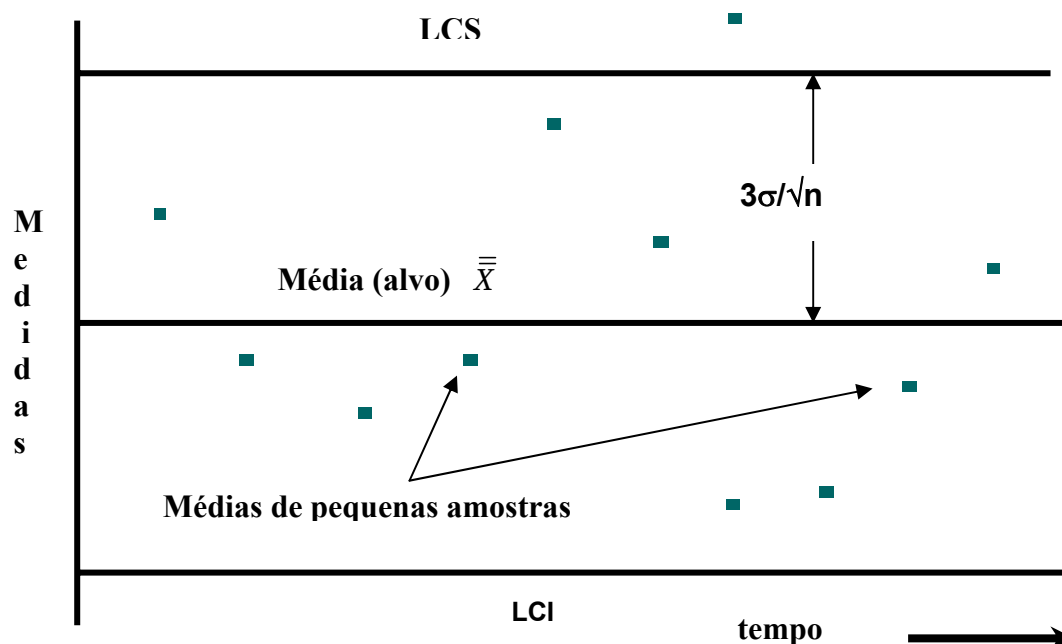


Figura 4 – Gráfica de controle em formato conceitual

A estimação dos limites de controle é válida para processos estáveis, quer dizer, que mantem fixos a média e o desvio padrão e, portanto, não estão sob a influência de causas especiais. No entanto, processos aparentemente sob controle podem receber a influência de uma causa especial e o resultado é que medidas se deslocam para fora dos limites. No gráfico acima, figura 4, este processo seria considerado sob a possível influência de alguma causa especial, instável, porque um ponto está fora dos limites de controle. Obviamente, um processo é considerado instável somente no momento da descoberta da causa especial.

Existem alguns padrões de pontos que também assinalam a existência de causas especiais; por exemplo, 8 pontos em seguida todos ou acima ou abaixo da linha central. Este padrão é tão raro de acontecer como um ponto que cai numa distância de 3 desvios padrão da linha central. É equivalente a jogar 8 caras em seguida com uma moeda justa, certamente uma ocorrência rara e, portanto, deve ser investigada a suposição da justiça da moeda na mesma maneira que deve ser investigada a influência de causas especiais no processo. Outro padrão para investigar é quando acontecem dois pontos em três dentro dos limites de controle mais extremamente perto deles. E finalmente um último padrão que deve assinalar possíveis problemas na linha de produção, 3 pontos em 4 de um lado da média, mas no meio da área nem muito perto da linha central nem perto do limite de controle. Dependendo da situação e da cultura na fábrica, outros padrões podem ser utilizados, mas uma palavra de cautela: o uso de padrões deve ser minimizado uma vez que muitos padrões significam na prática muitos alarmes falsos (Western Electric Company).

Baseado nestes conceitos, serão vistos nas próximas seções vários tipos tradicionais de gráficos de controle e mais alguns gráficos derivados de situações especiais.

9.3.2 Gráfico para médias $\bar{X}$

Na linha de produção de ração animal da Empresa Mi-Au, sempre houve um problema no momento do enchimento do pacote de um quilo. A clientela reclamava muito sobre os pacotes com menos ração, e eventualmente a empresa perdia clientes. E num determinado dia, caíram os pacotes de ração nas garras dos fiscais e encontraram vários pacotes com muito menos que um quilo de ração resultando em multas pesadas. O gerente então decidiu implantar um gráfico de controle no processo no ponto do enchimento dos pacotes. Para a coleta de dados, decidiu-se em utilizar amostras periódicas de hora em hora cada uma com 5 mensurações ($n = 5$). Escolheu esse perfil de amostragem considerando a literatura disponível desta indústria. (Todas as indústrias têm seus perfis para amostragem e, as vezes, as amostras devem seguir normas da agência reguladora. Por exemplo, na indústria química, amostras vêm de bateladas e o tamanho é de apenas um elemento, igual ao tamanho da amostra que é deixado pelo paciente no laboratório clínico. Esse tipo de amostragem será apresentada na seção 9.3.4. Depois de dois dias de coleta de dados (25 amostras de 5 mensurações cada, uma por hora durante 4 turnos), os resultados foram organizados na tabela 5. Tem uma amostra a mais em função do entusiasmo do operador com a nova metodologia.

AMOSTRA HORA EM HORA						
		1	2	3	4	5
ELEMENTOS DA AMOSTRA	1	1006	1009,69	1033,68	1051,89	963,31
	2	1005	1000	1001	1031	993,69
	3	1006,04	985,31	1000	1027	1022,02
	4	1032,35	1001	1016,9	1026,36	990,05
	5	1011,35	987,81	1033,01	1005,77	968,85
		6	7	8	9	10
ELEMENTOS DA AMOSTRA	1	1021	981,37	987,4	1030,14	1024,88
	2	1023,78	1010,28	994,03	1034,07	967,38
	3	1020	990,56	990,67	973,01	1018,81
	4	1046,87	990,46	1025,03	994,89	984
	5	1009,24	954,43	1048,18	973,62	1035,11
		11	12	13	14	15
ELEMENTOS DA AMOSTRA	1	1003	999	1015,25	978,48	1021,71
	2	1031,54	1039,08	1020	995,55	1026
	3	1017,65	1034	1010	989,48	1065,55
	4	979,96	1001	1006,9	1006,95	1050
	5	1013,52	999,11	1011,67	1002,07	1041,78
		16	17	18	19	20
ELEMENTOS DA AMOSTRA	1	1038,32	1050	1040,13	1000,13	975,07
	2	1013,77	1001,73	1025,99	1018,76	1036,42
	3	1009,32	1045	985,04	996,8	1020,49
	4	998,27	1023,59	1000	1056,75	1012,66
	5	980,34	1036	1011	1024,60	1003,89

ELEMENTOS DA AMOSTRA		21	22	23	24	25
	1	992,37	993,8	988,47	1049,23	1028,27
	2	962,4	1003,28	984,03	1035,78	997,39
	3	1019,46	1005,36	982,06	999	1038,43
	4	1059,09	1022,28	988,64	1011	1017,86
	5	1045,39	971,96	978,32	1008,32	987,317

Tabela 5 – Resultados de mensurações de 25 amostras horárias de tamanho 5.

Sendo praticamente impossível tirar qualquer conhecimento dos dados da tabela 5, os dados são ilustrados em formato gráfico na figura 5, no entanto, embora o gráfico seja mais esclarecedor, ainda há dúvidas sobre a série.

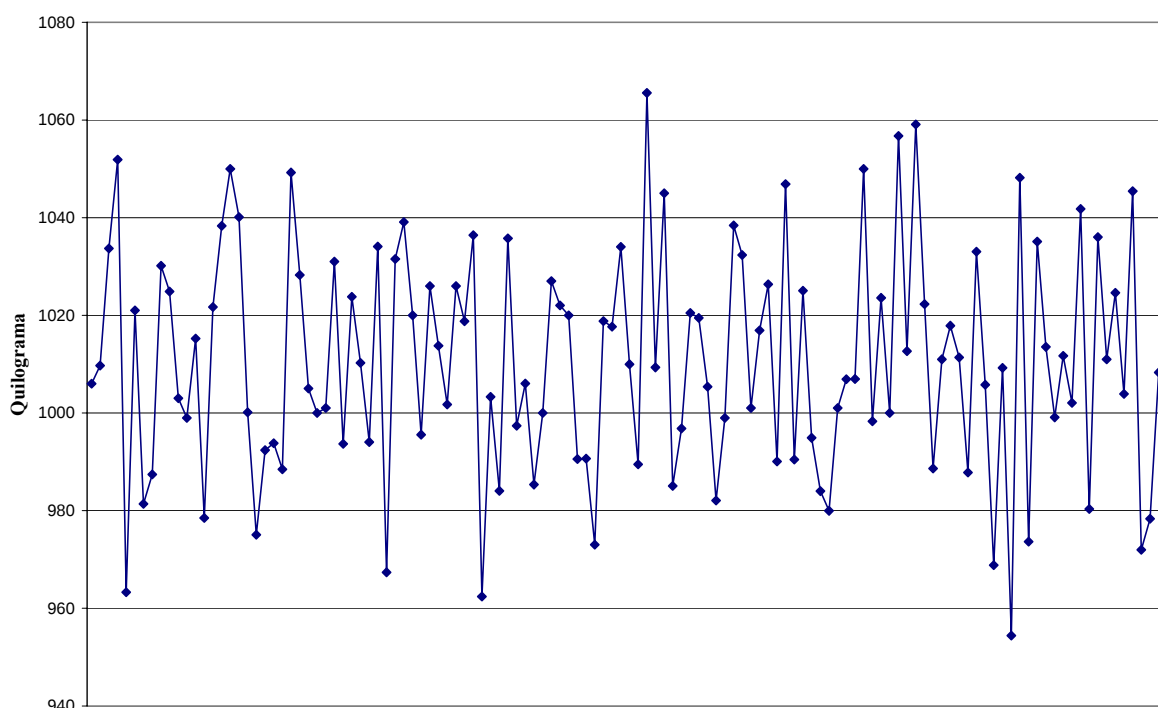


Figura 5 – Todas as 125 (5*25) mensurações de pacotes de ração.

Tem vários pontos que se afastam do alvo de 1000, mas os afastamentos são realmente grandes ou não. Qual o critério que deve ser utilizado para medir o afastamento? Onde é que devem ser colocados os limites de controle para assinalar a presença de causas especiais e melhorar o processo? O gráfico de controle resolve este problema.

Segundo a apresentação teórica na seção anterior, a linha central do gráfico de controle é a média dos dados ou o alvo do processo. A média dos dados é 1010,17 gramas ($= \bar{\bar{X}}$). O valor parece alto, mas reflete o fato de que a empresa sofreu a perda de clientes e muitas pesadas no passado, e, portanto, dado a instabilidade do seu processo, está sentindo a necessidade de proporcionar ração de graça para os compradores. No momento que o processo ficar mais

estável a média poderia voltar para 1000, despesas economizadas e resultado melhorado. Veja mais sobre a economia de qualidade no capítulo 10.

Os limites de controle são de 3 desvios padrão da média, ou dizendo melhor, 3 erros padrão, e desde que na prática, utiliza-se a amplitude média dos subgrupos racionais e os coeficientes de Shewhart da tabela 3. É muito comum na indústria utilizar o desvio padrão calculado com a média das amplitudes e o coeficiente d_2 , um dividindo o outro, $(\frac{\bar{R}}{d_2})$. O desvio padrão para se converter em erro padrão é dividido pelo $\sqrt{n}$ (raiz quadrado de n), onde n é o tamanho da amostra. Então o erro padrão é $\{\frac{\bar{R}}{d_2}\}/\sqrt{n}$. Os limites de controle então são 3 erros padrão acima e abaixo da média. Na tabela 3, a última coluna é A_2 . Estes coeficientes, os quais se modificam com o tamanho n dos subgrupos, transforma média das amplitudes ($\bar{R}$) em três erros padrão:

$$3\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 3\left(\frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}}\right) = A_2 \bar{R}$$

A utilização do coeficiente A_2 facilita muito o cálculo dos limites de controle para o próprio operador no chão da fábrica. Ainda assim com uma fábrica totalmente informatizada os coeficientes do Shewhart sobrevivem como a base dos cálculos de variabilidade.

Assim, os limites de controle são:

$$\text{LCS: } \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad \text{LCI: } \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

E a linha central é $\bar{\bar{X}}$.

Voltando para nosso exemplo de pacotes de ração, já foi calculado a média de 1010,17 gramas. O valor de A_2 da tabela 3 é 0,577 para amostras de tamanho $n = 5$, e o valor de amplitude média $\bar{R}$ que consta na tabela 6 é 47,67. Portanto, o limite de controle superior é $1010,17 + 0,577 \cdot 47,67 = 1037,82$, e o limite inferior é 982,57.

	1	2	3	4	5
MÉDIA DO SUBGRUPO	1012,15	996,76	1016,92	1028,4	987,58
AMPLITUDE DO SUBGRUPO	27,35	24,37	33,68	46,11	58,7
	6	7	8	9	10
MÉDIA DO SUBGRUPO	1024,18	985,42	1009,06	1001,15	1006,04
AMPLITUDE DO SUBGRUPO	37,62	55,85	60,77	61,06	67,72
	11	12	13	14	15
MÉDIA DO SUBGRUPO	1009,13	1014,43	1012,76	994,51	1041,01
AMPLITUDE DO SUBGRUPO	51,58	40,08	13,09	28,47	43,83
	16	17	18	19	20
MÉDIA DO SUBGRUPO	1008	1031,26	1012,43	1019,41	1009,71
AMPLITUDE DO SUBGRUPO	57,98	48,26	55,09	59,95	61,34
	21	22	23	24	25

MÉDIA DO SUBGRUPO	1015,74	999,34	984,3	1020,66	1013,85
AMPLITUDE DO SUBGRUPO	96,69	50,31	10,31	50,23	51,11

MÉDIA TOTAL $\bar{\bar{X}}$.	1010,17
MÉDIA DAS AMPLITUDES $\bar{R}$	47,67

Tabela 6 – Médias e amplitudes dos subgrupos

Em formato gráfico tem a figura 6, o gráfico de controle montado com as três linhas.

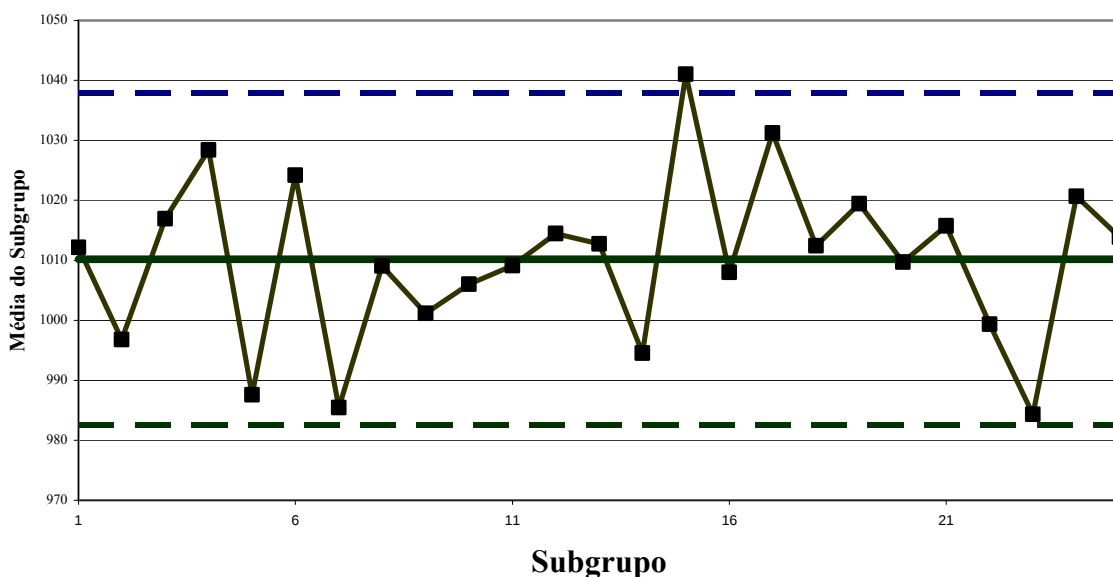


Figura 6 - O gráfico de controle $\bar{X}$

No gráfico, tem os valores das médias dos 25 subgrupos, e os limites de controle superior e inferior, e a média das médias. Nota-se que o subgrupo 15 tem média mais alta que o limite de controle, e, portanto, a média deste subgrupo é suficientemente longe da média do processo para justificar uma investigação e eventual eliminação de uma causa especial. O gerente fez exatamente isso e descobriu a presença de um operador substituto quase sem treinamento na função substituindo o operador veterano com médico marcado nesse horário. Houve então um treinamento rápido nos próximos dias para garantir o desempenho de todos os operadores nas tarefas mais importantes de toda a linha de produção. Quase sempre, os problemas na fábrica têm origem na gestão das operações. Se o operador foi ensinado numa maneira inadequada a culpa é da gerência e não do operador.

Gráficos de controle devem ser atualizados periodicamente, uma vez por mês é muito comum, e novos limites calculados, no entanto, jamais utilizarão nas atualizações os subgrupos que estavam sob a influência comprovada de causas especiais. Estes dados devem ser arquivados longe dos gráficos de controle, mas lembrados como parte da história das melhorias e outras conquistas da empresa.

9.3.3 Gráficos de controle para variabilidade R

É muito importante montar um gráfico de controle para monitorar diretamente a variabilidade do processo, já que a variabilidade do processo contribui para a qualidade do produto. Poderia argumentar como fazem muitos especialistas que o gráfico R é mesmo mais importante que o gráfico das médias.

Na prática os limites de controle são calculados usando a teoria já ilustrada na introdução a esta seção e os coeficientes de Shewhart (tabela 3). Entre várias alternativas, o gráfico das amplitudes (R) é o mais comum para monitorar variabilidade. A média das amplitudes ($\bar{R}$) é a linha central do gráfico e os limites de controle são:

$$LCS: = D_4 \bar{R} \quad LCI: = D_3 \bar{R}$$

onde D_4 e D_3 são coeficientes da tabela 3 os quais convertem a média das amplitudes em limites de controle. Veja figura 7. Neste caso, o valor de LCS é 100,58 ($= 2,115 \cdot 47,67$) e do LCI é 0 (pois D_3 é 0). Nenhum ponto está fora dos limites de controle e, conseqüentemente, o gerente deve sentir tranqüilo que nenhuma causa especial está influenciando o processo. Claro que tem um ponto próximo ao limite superior e se tiver tempo sobrando o gerente poderia investigar as causas, mas não há indícios fortes para a presença de causas especiais. Por outro lado, se for julgado grande demais a amplitude do processo em geral, difíceis decisões terão que ser tomadas para melhorar o processo como a compra de novas máquinas, muito mais treinamento para o pessoal no chão da fábrica, entre outras coisas.

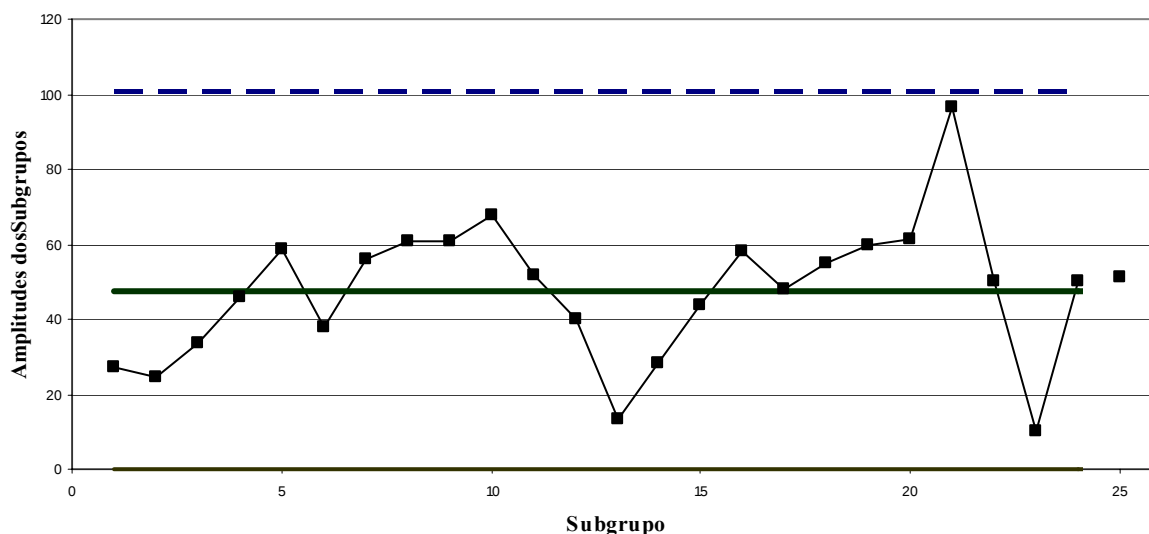


Figura 7 – Gráfico de controle das amplitudes R

Existe mais um gráfico para o monitoramento da variabilidade do processo, mas na prática é muito pouco utilizado, o gráfico S, baseado diretamente no desvio padrão dos subgrupos (veja seção 9.2.4). É mais apropriado quando os subgrupos têm tamanho maior, por exemplo, maior que 10, e é raro isso acontecer na prática.

O final da história da empresa Mi-Au é que foi decidido pelo gerente que a falta de treinamento foi o fator principal em explicar a variabilidade do processo. O que apareceu como uma causa especial no gráfico de controle num determinado ponto no tempo foi

reconhecida mais tarde como um problema geral de todos os operadores. A empresa começou uma série de sessões de treinamento que ocupavam apenas 3 horas por semana, mas o resultado foi surpreendente. A amplitude do peso do pacote de ração foi cortada pela metade e a média do processo ficou em 1001 gramas. A clientela voltou e os fiscais nunca mais encontraram pacotes com não-conformidades. Uma percentagem das economias realizadas foi distribuída para os operadores no Natal e a outra parte ficou com o gerente. Final feliz.

9.3.4 Gráficos X_i individual e amplitude móvel (AM)

O gráfico individual é utilizado quando os subgrupos têm apenas um elemento como acontece regularmente na indústria química e alimentar. O problema aqui é como definir a variabilidade e calcular a amplitude quando o subgrupo tem apenas um elemento. A solução é de trabalhar com uma amplitude móvel. Na tabela 7, tem uma lista de temperaturas de uma composição química.

Número	Dados	Amplitude Móvel
1	95,43	4,42
2	99,85	0,24
3	100,09	1,65
4	101,73	0,45
5	102,18	3,81
6	98,37	2,84
7	101,21	4,96
8	96,26	2,64
9	98,90	1,98
10	96,92	1,23
11	95,70	0,65
12	95,05	2,76
13	97,81	0,03
14	97,84	5,25
15	103,09	7,91
16	95,18	2,42
17	97,61	0,39
18	97,22	4,56
19	101,78	1,54
20	103,32	1,29
21	102,03	1,98
22	104,02	5,34
23	98,68	0,30
24	98,38	

Tabela 7 – Temperaturas em centígrados de uma composição química.

A coluna de dados tem mensurações de temperatura e a última coluna tem a amplitude móvel. A amplitude móvel é a diferença entre duas mensurações sequenciais. Por exemplo, a primeira amplitude móvel (4,42) é a diferença entre os primeiros dois números (99,85 – 95,43). A segunda amplitude móvel (0,24) é a diferença entre os dois números em seguida (100,09 - 99,85). A média das amplitudes é 2,55. Esta amplitude pode ser utilizada para definir os limites de controle na mesma maneira como antes no gráfico de controle das médias e supondo que o tamanho da amostra é igual a 2. O gráfico de controle terá linha central igual a 99,11, a média da coluna dos dados, e limites de controle são calculados com o coeficiente de Shewhart, $d_2 = 1,128$ para $n = 2$. (Veja tabela 3) O limite de controle superior é 105,89 (= 99,11 + $3 \cdot 2,55 / 1,128$), e o limite de controle inferior é 92,328 (= 99,11 - $3 \cdot 2,55 / 1,128$). Nenhum dado da tabela 7 está fora dos limites de controle, assim o processo está sofrendo apenas causas comuns. Se o engenheiro estiver insatisfeito com a variabilidade do processo, julgando que as temperaturas estão variando demais, então ele vai ter que atacar o problema com despesas grandes para comprar um novo aquecedor ou um termostato melhor.

QUALIDADE EM AÇÃO

O administrador Eulálio trabalha numa grande companhia de cartão de credito e seus superiores querem agilizar o processamento de novos cartões. O processo em si já foi mapeado e um ponto crítico identificado: é a tarefa de checar as referências bancárias do novo candidato ao cartão. Para levantar uma amostra de tempos para essa tarefa, cada três horas o processo é monitorizado durante 30 minutos e depois de três dias a média do processo é calculado em 8 minutos com desvio padrão de 5 minutos. Com a primeira montagem do gráfico de controle para valores individuais X_i , são encontrados vários pontos fora dos limites, causas especiais são encontrados e o processo corrigido. Os pontos foram eliminados da base dos dados e novos limites de controle calculados. No decorrer do tempo, novos pontos aparecem fora dos limites de controle e quase sempre causas especiais encontradas. A causa especial de documentos perdidos foi solucionada com um tratamento de 6S na mesa dos funcionários. Outro problema foi a demora, ainda muito irregular, de conseguir contato com o funcionário dos bancos, e foi solucionado pelo Administrador Eulálio quem estabeleceu uma série de convênios com os maiores bancos padronizando um sistema de comunicação através de formulários na internet, e-mails e em última instancia a utilização do telefone. Em poucas semanas a média da tarefa baixou para 3 minutos com desvio padrão de 2 minutos. Com esta melhoria, o número de candidatos processados por semana quase se triplicou.

Até agora não foi mencionado algo sobre os limites de especificação que medem a tolerância permitida da variabilidade de uma característica importante do produto. Estes limites são conceitualmente independentes dos limites de controle. A tolerância é calculada pelo desenhista do processo ou produto na hora da sua concepção antes de qualquer tentativa de fabricá-lo. Em outras palavras, tolerância é um conceito teórico. Os limites de controle, por outro lado, são valores calculados dos dados observados no chão da fábrica e são valores práticos e não teóricos. Tolerância mede o que deve ser, enquanto limites de controle medem o que realmente é. O índice de capacidade é uma medida da relação numérica entre os dois conceitos: é a distância entre o limite de especificação superior (LES) e o limite de

especificação inferior (LEI) dividido pela distância entre o limite de controle superior (LCS) e o limite de controle inferior (LCI) do gráfico de controle para valores individuais.

$$(LES - LEI) / (LCS - LCI) = (LES - LEI) / 6 \text{ desvios padrão}$$

O valor $(LCS - LCI)$ é chamado muitas vezes “6 sigma” sendo uma distância de 6 desvios padrão. Quando o processo é capaz, então os limites de controle ficam inteiramente dentro dos limites de especificação, e o valor do índice é maior que 1,0. Um índice igual a 1,0 significa que a taxa de rejeição de produto não conforme fica em 27 itens em 10.000. Geralmente, indústrias hoje em dia querem processos com índices maiores que 1,33 e se for chegar ao valor fantástico de 2,0, isso significa que a tolerância está em 12 desvios padrão de distância, ou 6 desvios padrão da linha central. Com o índice igual a 2,0, a taxa de rejeição de defeituosas fica em 2,0 itens defeituosas em 10 bilhões produzidas.

No caso do exemplo das temperaturas das bateladas, os limites de especificação são 92,528 e 106,09; a temperatura das bateladas deve ficar sempre entre essas duas temperaturas para garantir o produto. O índice de capacidade nesse processo químico é $(106,09 - 92,028) / (105,89 - 92,328) = 14,062 / 13,562 = 1,04$. Portanto, pelo índice de capacidade as temperaturas estão fora das especificações quase 27 vezes para cada 10.000 amostras ou 0,27% do tempo, um valor avaliado como adequado pelo gerente da linha de produção.

9.3.5 Gráfico de controle p

A empresa Brindes4U tem como carro chefe de fabricação uma caneta esferográfica acostumizada com a logo-marca do cliente. O custo de fabricação da caneta é em torno de 45 centavos (vendida a R\$1,00) e o tamanho do lote é entre 3000 e 30.000 unidades. As canetas vêm recebendo reclamações recentemente dos clientes por três razões: o mecanismo de fechar e abrir a ponta da caneta não funciona bem, a tinta da caneta é de baixa qualidade secando rápido dentro da caneta e, o que é pior, a tinta da logo marca do cliente desaparece em poucas horas. Obviamente, inspeção a 100% seria uma impossibilidade dado o tamanho dos lotes e o custo baixo de cada item. O gerente da linha de produção toma a iniciativa de implantar a utilização de um gráfico de controle na linha, e como primeira tentativa coloca o gráfico bem no final da linha de produção. O gráfico utilizado é o gráfico de percentagem (p) de itens defeituosos.

É muito popular nas fábricas onde a utilização de CEP é ainda muito embrionária. A peça é inspecionada e julgada conforme ou não. Não é preciso nenhum equipamento avançado de mensuração. No caso da empresa Brindes4U, não é necessário mensurar alguma característica da caneta, mas sim apenas vê se a caneta preenche os três parâmetros de qualidade já mencionados acima. O gráfico exige tamanho de amostra grande, de 100 a 1000 ou 2000. O gerente decidiu usar amostras de tamanho 100 para facilitar a conversão de número de defeituosas em percentagem. Depois de três turnos de amostragem, foram coletados dados em 34 subgrupos.

Número da amostra	Número defeituosa	Tamanho da amostra	Percentagem defeituosa
1	8	100	8,00
2	8	100	8,00

3	5	100	5,00
4	2	100	2,00
5	5	100	5,00
6	7	100	7,00
7	2	100	2,00
8	5	100	5,00
9	3	100	3,00
10	12	100	12,00
11	3	100	3,00
12	6	100	6,00
13	2	100	2,00
14	7	100	7,00
15	8	100	8,00
16	3	100	3,00
17	3	100	3,00
18	5	100	5,00
19	4	100	4,00
20	5	100	5,00
21	3	100	3,00
22	8	100	8,00
23	2	100	2,00
24	6	100	6,00
25	2	100	2,00
26	5	100	5,00
27	6	100	6,00
28	9	100	9,00
29	2	100	2,00
30	3	100	3,00
31	9	100	9,00
32	7	100	7,00
33	5	100	5,00
34	4	100	4,00
Média	5,12	100,00	5,12

Tabela 8 – Percentagem defeituosa.

Para montar o gráfico de controle de percentagem defeituosa, é necessário calcular a linha central a qual é a percentagem defeituosa média, e os limites de controle inferior e superior a três desvios padrão da média. Da tabela 8, pode ver que a percentagem defeituosa média é 5,12%. O cálculo do desvio padrão neste caso segue a formula,

$$\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = \sqrt{\frac{0,0512(1-0,0512)}{100}} = 2,2\%.$$

Portanto os limites de controle se distanciam da percentagem média em três desvios padrão:

$$\text{LCS: } 5,12\% + 3 \cdot 2,2\% = 11,72\%$$

$$\text{LCI: } 5,12\% - 3 \cdot 2,2\% = -1,48\% \rightarrow 0,0$$

O limite de controle inferior foi calculado em $-1,48\%$, quer dizer, número negativo, uma impossibilidade neste caso. Não existe número de itens defeituosos negativo! Foi por causa disso que o número negativo foi substituído pelo zero.

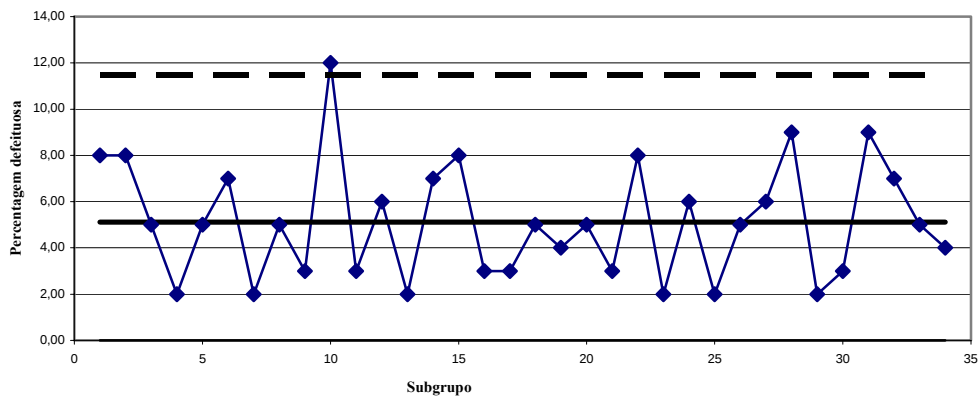


Figura 8 – Gráfico de controle de percentagem defeituosa p.

O gerente imediatamente nota que o subgrupo 10 tem um número de defeituosas maior que o limite superior de controle ($12 > 11,72$). Uma investigação atrás de causas especiais é apontada, e se for encontrada a causa da deterioração da qualidade do produto, ela deve ser eliminada.

QUALIDADE EM AÇÃO

O supervisor de uma linha de produção de uma válvula hidráulica de PVC, o Engenheiro Valdomiro, está com o problema de cortar o tubo de PVC sem deixar nenhum vestígio do corte como pó residual, fios de PVC no corte ou a beirada do corte riscada. A linha é responsável para aproximadamente 1000 cortes por hora e, portanto a inspeção de 100% não é justificável. Então cada hora Valdomiro escolhe aleatoriamente 150 cortes para inspeção, e monta o gráfico de controle p. É a primeira vez na história da fábrica que começam monitorar um processo com regularidade e disciplina. Valdomiro acha que a percentagem de cortes rejeitados deve estar em torno de 5%. Para calcular o desvio padrão do processo ele utiliza a fórmula do texto $\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = \sqrt{0,05 \cdot (1 - 0,05) / 150} = 0,018$, e então o limite superior de controle é $0,05 + 3 \cdot 0,018 = 0,10$. O limite inferior de controle ficou em 0,00. Assim, hora em hora ele vê o valor de p na amostra de 150 cortes e coloque o valor no gráfico de controle p. Muitas vezes o valor de p da amostra é maior que o limite de controle, e Valdomiro é obrigado buscar as causas especiais. Uma depois de outra, as causas especiais se revelam. Entre muitas outras, a serrinha de corte não era substituída regularmente, houve troca de operador sem prestar atenção à fase do processo, o plástico utilizado se mostrou níveis de dureza diferentes. Ao longo do tempo, as causas especiais são eliminadas e depois de apenas uma semana de monitoramento a percentual de cortes defeituosos já diminuiu para 1,5%. O resultado maior é que Valdomiro é promovido a Chefia de qualidade da empresa.

Em muitos casos, na prática, a utilização do gráfico pode ser simplificada para facilitar as tarefas do operador na linha de produção. Quando o item fabricado é pequeno, mas produzido em lotes muito grandes e o custo de fabricação é muito baixo, o tamanho do subgrupo deve ser grande, talvez 1000 ou 2000. É o caso da fabricação de porcas ou parafusos onde o tamanho do lote pode ser 100.000 ou mais. Para facilitar os procedimentos, um subgrupo de 2000 não precisa ser contado um por um, mas sim os 2000 itens podem ser coletados em algum tipo de recipiente onde cabem exatamente 2000 parafusos, por exemplo, uma balde. Então os 2000 parafusos são espalhados por uma mesa onde três ou quatro operadores vão fazer inspeção dos itens rápida e eficientemente. Assim, o número de defeituosas é relatado em ficha de verificação. Desde que aqui está se trabalhando com o número de defeituosas e não a percentagem, as formulas para a linha central e os limites de controle são diferentes. A linha central é a média das defeituosas nos subgrupos e o desvio padrão é calculado com uma formula ligeiramente diferente: $\sqrt{p(1-p)n}$. Nota-se a colocação do n (o tamanho do subgrupo) na formula, agora no numerador. Assim, o limite de controle superior e inferior é:

$$\text{a média dos defeituosas} \pm 3 \sqrt{p(1-p)n}$$

Na literatura especializada, o gráfico leva o nome de gráfico de controle np. Desde que n é o tamanho da amostra e p a percentagem defeituosa na média, então o valor np é o valor esperado de defeituosas num subgrupo qualquer.

9.3.6 Gráficos para defeitos

Quando a fabricação é de itens maiores, de maior custo e complexidade, e infinitas possibilidades de encontrar defeitos, como carros, iates, geladeiras, paredes em construções grandes como arranha-céus (é particularmente interessante a utilização do gráfico de defeitos na área de construção civil), erros de datilografia num livro e aviões, então surge a necessidade de contar o número de defeitos encontrados no item fabricado para melhorar a qualidade. Por exemplo, vamos falar sobre uma fábrica de geladeiras. Existe uma série de falhas que podem aparecer na geladeira: arranhões na tinta, porta que mau fecha, pé da geladeira mal equilibrado, entre outros. Contando defeitos por geladeira oferece dados suficientes para a montagem do gráfico de controle.

Identificação da Geladeira	Número de Defeitos	Identificação da Geladeira	Número de Defeitos	Identificação da Geladeira	Número de Defeitos	Identificação da Geladeira	Número de Defeitos
1	0	14	0	27	1	40	1
2	3	15	0	28	5	41	2
3	1	16	0	29	1	42	1
4	0	17	1	30	0	43	1
5	0	18	1	31	2	44	0
6	0	19	0	32	1	45	0
7	0	20	0	33	0	46	2
8	0	21	3	34	0	47	3
9	0	22	0	35	2	48	1
10	1	23	1	36	0	49	3
11	3	24	2	37	1	50	3
12	0	25	2	38	0		
13	3	26	1	39	4		
						Média =	1,12

Tabela 9 – Número de defeitos por geladeira em 50 subgrupos.

A linha central do gráfico é a média de defeitos por geladeira. Como sempre e igual aos outros gráficos os limites de controle superior e inferior distanciam-se em três desvios padrão da média. Neste caso, o desvio padrão tem uma formula muito especial e muito simples: é a raiz quadrado da média dos defeitos por geladeira, aqui $\sqrt{1,12} = 1,058$. Em outras palavras, a variância e a média são idênticas. Portanto os limites de controle são:

$$\text{LCS: } 1,12 + 3 \cdot \sqrt{1,12} = 4,29$$

$$\text{LCI: } 1,12 - 3 \cdot \sqrt{1,12} = -2,05 \rightarrow 0,00$$

Como no gráfico anterior sobre proporções defeituosas (p), o limite inferior apareceu com valor negativo numa situação onde valor negativo é uma impossibilidade; não existe número negativo de defeitos. Por isso no gráfico foi substituído o valor negativo pelo zero.

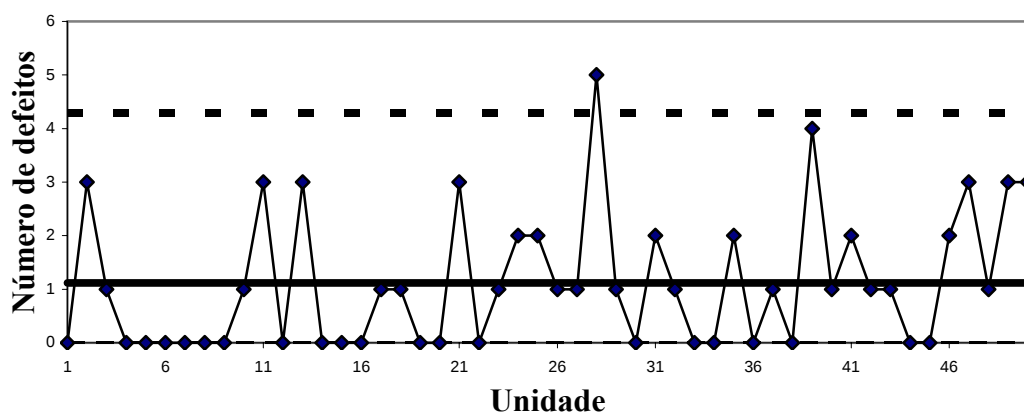


Figura 9 – Gráfico de controle para defeitos.

A geladeira número 28 possui 5 defeitos e está acima do limite de controle. O gerente deve entrar em ação e investigar o processo para possíveis causas especiais.

9.3.7 Gráficos dos Deméritos

O gerente da linha de produção de geladeiras não ficou muito satisfeito com o gráfico de defeitos porque no final há uma grande diferença entre a severidade dos próprios defeitos. Alguns são apenas superficiais que não afetam a utilização do produto enquanto outros são fatais e tem que ser evitados a qualquer custo. Depois de levantar esta dúvida para o professor de CEP da universidade ele toma a decisão de implantar na linha o gráfico de deméritos em substituição ao gráfico de defeitos. Agora defeitos mais sérios vão levar um peso maior que os defeitos mais leves. Veja tabela 10, derivada da tabela 9. A diferença entre as duas tabelas é que na tabela 10 os mesmos defeitos da tabela 9 foram classificados como leves com peso 1, médios com peso 3 e severos com peso 6. A segunda geladeira tem três defeitos mas agora os três defeitos valem 10 deméritos: um defeito com peso 1 e um segundo defeito com peso 3 e um terceiro defeito com peso 6, somando um total de 10 deméritos. O cálculo foi feito para todas as geladeiras com os resultados em tabela 10. A média dos deméritos é igual a 2,62 e é a

linha central do gráfico de controle. Os limites seguem a norma de três desvios padrão de distância da média, e o cálculo do desvio padrão resulta da seguinte fórmula para a variância onde é necessário incorporar os pesos diferenciados:

$$1^2 * (\text{Média defeitos leves}) + 3^2 * (\text{Média defeitos médios}) + 6^2 * (\text{Média defeitos severos}) =$$

$$1 * (0,64) + 9 * (0,3) + 36 * (0,18) = 9,82$$

Como já foi discutido na seção 9.2.4, o desvio padrão é a raiz quadrada da variância: $\sqrt{9,82} = 3,13$.

Com a média de 2,62 e desvio padrão de 3,13 então os limites de controle são:

$$\text{LCS: } 2,62 + 3 * 3,13 = 12,01 \quad \text{LCI: } 2,62 - 3 * 3,13 = -6,77 \rightarrow 0,00$$

Identificação da Geladeira	Defeitos leves	Defeitos médios	Defeitos severos	Deméritos
	Peso = 1	Peso = 3	Peso = 6	
1	0	0	0	0
2	1	1	1	10
3	1	0	0	1
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	1	0	0	1
11	1	1	1	10
12	0	0	0	0
13	1	1	1	10
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	1	0	0	1
18	1	0	0	1
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	1	1	1	10
22	0	0	0	0
23	1	0	0	1
24	1	1	0	4
25	1	1	0	4
26	1	0	0	1
27	1	0	0	1
28	3	1	1	12
29	1	0	0	1
30	0	0	0	0
31	1	1	0	4
32	1	0	0	1
33	0	0	0	0

34	0	0	0	0
35	1	1	0	4
36	0	0	0	0
37	1	0	0	1
38	0	0	0	0
39	2	1	1	11
40	1	0	0	1
41	1	1	0	4
42	1	0	0	1
43	1	0	0	1
44	0	0	0	0
45	0	0	0	0
46	1	1	0	4
47	1	1	1	10
48	1	0	0	1
49	1	1	1	10
50	1	1	1	10
Média =	0,64	0,3	0,18	2,62
			Desvio Padrão =	3,13

Tabela 10 – Defeitos com pesos diferenciados e Deméritos

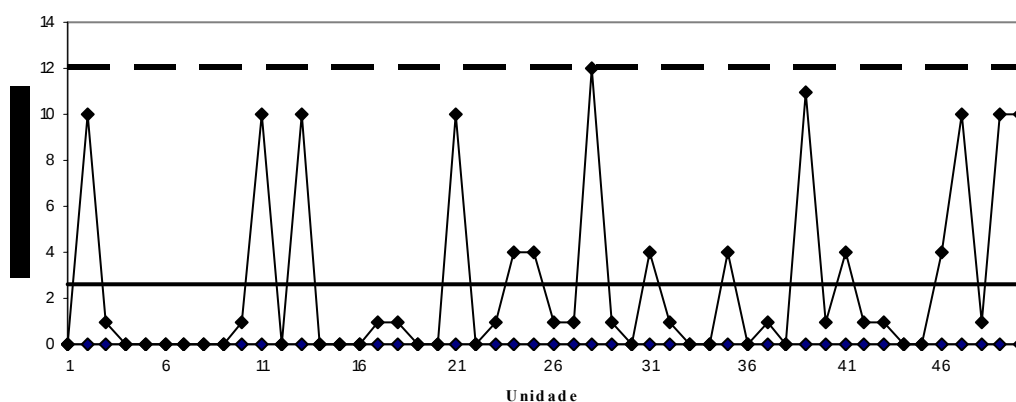


Figura 10 – Gráfico de controle para Deméritos.

Podem se ver em figura 10 que a geladeira número 28 continua dando um alarme de presença de causas especiais precisando ser investigadas.

9.3.8 Resumindo: o gráfico de controle certo para a situação certa

Como foi visto nesta seção, o uso correto dos gráficos de controle depende da situação onde o controle e monitoramento será aplicado e a seleção do gráfico correto para esse caso específico. Quando a variável sendo mensurada é contínua como peso ou volume, a situação exige o uso de gráficos para médias $\bar{X}$ para monitorar as médias de pequenos subgrupos e gráficos de controle para variabilidade R para monitorar a variabilidade do processo. E se os

dados vêm em subgrupos de tamanho unitário, então é indicada a utilização de gráficos de dados individuais e a amplitude móvel.

Quando o dado é uma percentagem representando a proporção de peças defeituosas numa amostra o gráfico correto seria o gráfico de controle de defeituosas em percentagens (p). É um erro muito comum e muito sério aplicar percentagens num gráfico de médias $\bar{X}$. Desde que o desvio padrão não é a mesma nos dois gráficos, o cálculo dos limites de controle é diferente e não comparável. O resultado pode ser muitos alarmes falsos ou alarmes verdadeiros não dados.

Finalmente, quando o dado é número de defeitos num produto e as possibilidades de encontrar defeitos são amplas, o gráfico correto é para defeitos onde a formula tem o desvio padrão igual a raiz quadrada da média.

9.4 Conclusões: aproveitando ao máximo os gráficos de controle

Gráficos de controle, mesmo utilizados erradamente, podem resultar em benefícios para a empresa. No entanto, com alguns ajustes e algumas sugestões chave, os alarmes falsos que resultam diretamente do mau uso dos gráficos podem ser reduzidos ao mínimo e, conseqüentemente, tempo, esforço e recursos liberados para alocação em tarefas e áreas da empresa mais importantes. Nada na empresa é mais real do que um alarme falso, e naturalmente estes alarmes incorrem em custos altos e desnecessários, e devem ser mantidos em número mínimo. Por outro lado, alarmes verdadeiros devem despertar o operador ou engenheiro imediatamente depois de uma degradação do processo, e ser abundantes em processos instáveis. No final, nada é mais lucrativo do que uma fábrica ou escritório com processos estáveis, e isso significa que poucos itens não-conformes são produzidos, tempo improdutivo é quase zero e, quando processos deterioram, eles são rapidamente observados e corrigidos.

9.4.1 Aparelhos de medição não são confiáveis

Quando processos aparecem fora de controle, em primeiro lugar sempre questiona a precisão dos aparelhos de medição, mesmo sendo dos mais modernos e mais na moda. Em geral, uma hora ou duas cada semana é suficiente para testar todo seu equipamento e ficar mais confiante sobre as mensurações.

9.4.2 Dicas relacionadas diretamente aos pontos nos gráficos que soam alarmes

Todos os alarmes têm que ser investigados, e o engenheiro não deve sentir frustrado depois de uma meticulosa investigação de um alarme falso onde nenhuma causa especial é encontrada. Mesmo quando os gráficos de controle são construídos seguindo as regras básicas da utilização científica de estatística, os alarmes falsos são inevitáveis, mas podem ser reduzidos ao mínimo e, conseqüentemente, resultando em seqüências longas de amostras sem nenhum alarme falso. O outro lado da questão é que um alarme verdadeiro que não soa é tão ruim se não pior para a empresa e possivelmente pode incorrer em custos altos. Assim, todos os alarmes têm que ser respeitados e investigados.

Observações nas amostras não devem ser eliminadas dos dados dos gráficos de controle simplesmente porque parecem diferentes das outras observações. Antes de tudo, uma causa especial tem que ser encontrada, o processo corrigido, e é só então que as observações desta amostra podem ser eliminadas. As observações são eliminadas dos dados do gráfico porque foram caracterizadas como vindo de uma outra população em consequência da causa especial.

9.4.3 A utilização correta da teoria estatística faz uma diferença substancial

Quando o engenheiro está trabalhando com dados discretos como número de peças defeituosas ou defeitos, não é correto aplicar um gráfico de controle das médias nas percentagens calculadas dos não-conformes, como já foi comentado na seção anterior. Cometendo este erro resultará em limites de controle absolutamente errados. Os gráficos de controle das médias são construídos para o monitoramento de características medidas numa escala contínua como pesos, diâmetros, comprimentos, e semelhantes. Quase sempre os gráficos dependem da suposição de dados distribuídos na distribuição normal que exige que os valores medidos devam variar entre menos infinito e mais infinito. Na prática, isso significa que não existem limites ou restrições nos valores medidos. A medida na prática pode assumir valores relativamente grandes ou pequenos. Por outro lado, é claro que percentagens têm limites: um mínimo de zero e um máximo de 100. Então, não confundem os gráficos.

Estratificação de uma amostra é muito mais importante que um cálculo detalhado do tamanho da amostra. . Estratificação na amostragem definindo na ficha de verificação quais máquinas foram utilizadas, hora do dia, fonte da material prima, operador e outras características importantes do processo é a única maneira de enxergar problemas específicos. É verdade que amostragem estratificada envolve mais tempo e mais cuidados, mas aumenta a capacidade de investigação mais rápida. Para o gráfico das médias, o tamanho da amostra deve ser entre 4 aos 9 elementos, e quando a estratificação é bem feito, então quatro elementos por amostra é mais que suficiente. Gráficos para percentagens não conforme necessitam amostras muito maior, mas a peça sendo amostrada é em geral quase insignificante em termos de custo por item, como lápis, fósforos, porcas e parafusos. Finalmente, jamais utilizará amostras de tamanho diferente. Na literatura acadêmica, fala muito sobre amostras de tamanho variável, mas na prática, se o tamanho da amostra variar, isso não acrescenta nenhuma vantagem e leva confusão no momento da avaliação do processo pelo gráfico.

Muitas vezes, em gráficos que monitoram defeitos ou peças defeituosas, muitos zeros podem ser observados. A abundância de zeros pode tendenciar os resultados levando o engenheiro imaginar que existem menos defeituosas do que realmente é. Amostras, então, têm que ser grandes para evitar o aparecimento de zeros, ou uma alternativa seria de utilizar um gráfico de médias onde X será definido como o tempo decorrido entre o aparecimento de peças defeituosas. Mesmo que isso pode ser muito parecido com o bem conhecido gráfico de controle para dados individuais, não é, porque os dados jamais serão distribuídos na distribuição normal. Como engenheiros da área de confiabilidade sabem, tempo nunca é normal. Ou a variável tempo tem que ser transformado para normalidade por alguma manipulação algébrica, ou uma distribuição mais adequada terá que ser implementada. No entanto, a filosofia deste capítulo é que, nos estágios iniciais da implantação pela empresa de gráficos de controle, determinadas regras são ignoradas como a da normalidade dos dados, mas vão ser corrigidas no decorrer do tempo enquanto a empresa aprende as lições de estatística.

A não normalidade dos dados é um problema raramente atacado no chão da fábrica. Aprendendo tratar deste problema na maneira correta melhorará em muito a eficiência da prática dos gráficos. E a empresa conseguirá um resultado financeiro interessante, enquanto a taxa de rejeição e retrabalho caem, e causas especiais são encontradas.

Finalmente, um último problema com os dados do gráfico de controle que contradiz as suposições básicas de estatística é a dependência dos dados através do tempo. Gráficos de controle utilizados numa maneira correta exigem que dados não possuam tendências, subindo ou descendo ou exibindo padrões de qualquer tipo. Dados como estes geralmente produzem limites de controle muito mais largos que os valores certos, e isso significa que alguns alarmes verdadeiros não vão ser dados.

9.4.4 De teorias organizacionais da empresa e da fábrica

O processo de implementação de controle estatístico de processo na empresa não é uma tarefa fácil, e existe somente uma única maneira para fazê-lo: passo a passo. Procedimentos têm que ser desenvolvidos no nível de “caso a caso” para encaixar novos procedimentos nos procedimentos já existentes, e isso em geral exige um gasto grande em esforço e dinheiro, mas em quase todos os casos o retorno é considerável. Pense nisso como se fosse a busca de melhorias dentro do próprio processo de busca de melhorias. A empresa séria não deve nunca ficar com medo de avançar para procedimentos mais complexos contanto que apontem para níveis maiores de eficiência e lucratividade. No mínimo, há uma coisa certa: alguns de seus concorrentes no mercado já estão lá na sua frente.

Como foi falada no início da seção, gráficos de controle ainda mal utilizados tem o seu valor. O ato de coletarem dados regularmente, desenhando gráficos e analisando a variabilidade e comportamento dos processos empresariais só podem trazer benefícios para a empresa. A aplicação de controle estatístico de processo leva a empresa de “fazer certo a primeira vez”, como Juran sempre falava; os benefícios disso são grandes. Nesta linha de raciocínio, é importante que a colocação de gráficos de controle deva ser enfatizada no início do processo e não no final. No final do processo o valor adicionado pelo processo de fabricação já é grande e qualquer rejeição nessa altura do jogo tem implicações desastrosas em termos de custos. No início do processo, a elaboração do produto quase não começou e, portanto a rejeição e retrabalho têm custos triviais.

9.5 ISO 9001-2000 e controle estatístico de processo

A certificação de ISO 9001-2000 proporciona a garantia de que a organização está sempre e constantemente correndo atrás de melhorias, nos insumos que entram na linha de produção, pelas melhorias nos processos produtivos e administrativos da organização, e pela satisfação do cliente e empregado. No entanto, não é o intuito de ISO 9001-2000 nem propor nem exigir a utilização de procedimentos específicos para alcançar as tão desejadas melhorias. A alma do ISO 9001-2000 é a documentação dos fazeres e deveres da organização, continuamente levantada e organizada, que serve de base primária e essencial para a evolução e aperfeiçoamento da organização. O ISO tem como prioridade o fluxo de informação otimizado e, nem menos importante, as informações armazenadas em depósitos de fácil utilização. Não há nenhuma obrigação de utilizar memória no disco rígido de um computador.

Pelo contrario, ISO aceita fichas em papel depositadas em arquivos metálicos se for o caso, mas é claro que uma rede de micro-computadores tem um potencial de organização muito maior.

Alem do mais, ISO 9001-2000 é caracterizado por um viés na direção de quantificação do conhecimento, refletindo a filosofia de que os fatos numéricos, alem de exigir detalhamento e definição mais apurados, abre o caminho para estudos e análises mais objetivos e científicos (menos papo furado). O modelo de gerenciamento favorecido pelas normas e descrito logo no inicio de ISO 9001-2000 é o famoso PDCA do Deming e antecedentes (Shewhart, etc.), baseado na metodologia científica. P (planning = planejamento) é para levantar e definir o problema e as metas, D (do = fazer) é testar em situações reais da empresa procedimentos que corrigem a situação, C (check = analisar) é estudar se os procedimentos realmente funcionam, e A (act = implementar) é colocar em prática ações específicas e contínuas para prevenir falhas e melhorar a qualidade. Os autores mencionados em cima fizeram grandes contribuições na área de estatística e a sua aplicação em procedimentos concretos, e certamente pensavam nessas metodologias para o ciclo PDCA. Explicitamente, entre outras coisas, o ISO 2001-9000 discute no seu capítulo 8, Mensuração, Análise e Melhoria, a mensuração da satisfação do cliente e como o cliente pode influenciar na tomada de decisões até mesmo na linha de produção.

Nosso objetivo aqui é ilustrar rapidamente quais requisitos de ISO 9001-2000 abordam assuntos quantitativos e como estes assuntos são potencialmente tratados com metodologias estatísticas.

No capítulo 5 sobre as responsabilidades da gerencia da empresa, o parágrafo 5.1d e de novo em 5.6.1 responsabilizam a diretoria com revisões periódicas do sistema de qualidade gerencial. As revisões são documentadas e devem utilizar, ao máximo, medidas quantitativas de desempenho. Quando necessário, o sistema de qualidade deve sofrer alterações para melhor fornecer o que o cliente exige. É aqui que gráficos de controle e histogramas podem ser reavaliados e atualizados. Este tema é repetido em 5.2, 7.2.1 e 8.2.1, os quais abordam os requisitos do cliente visando a linha de produção. Mas como saber quais são os requisitos dos clientes? Esta questão não apresenta nenhum problema quando o número de clientes é pequeno como, por exemplo, a relação entre fornecedor e cliente/montadora no setor automobilístico. Neste caso, os requisitos fazem parte de um minucioso contrato com obrigações legais. No entanto, existem mercados onde o número de clientes é milhares ou até milhões. A situação exige a utilização de questionários e amostragem e metodologias mais complicadas em estatística para categorizar e analisar correlações esclarecedoras sobre as exigências que determinam a qualidade de um produto ou serviço. Para quem não possui ainda conhecimento nas metodologias mais matemáticas e quantitativas, é bom lembrar que um questionário bem feito já pode revelar o comportamento do consumidor, e existem maneiras de ver isso em gráficos simples. A regra geral é nunca tentar uma metodologia complicada antes de entender a abordagem gráfica.

No capítulo 6 do ISO 9001-2000 sobre o gerenciamento de recursos, tudo mais uma vez é direcionado ao cliente. Em 6.1 b, a melhoria da satisfação do cliente é alcançada somente conhecendo os requisitos, e na maioria das vezes isso será feito através de questionários e análises estatísticas. Procedimentos estatísticos também podem ser úteis para avaliar se um programa de treinamento é valido, testando o empregado imediatamente depois do

treinamento pelo conhecimento adquirido, e, no longo prazo, pela pertinência do treinamento em melhorar relações entre a firma e seus clientes? (veja parágrafo 6.2.2 c) Neste contexto, a eficiência do setor logístico é extremamente importante, e seu desempenho é crítico para entregar o produto ou serviço na hora certa. Desempenho pode ser medido pelo tempo de atraso, por exemplo, e monitorado. (Veja 6.3 c sobre Infra-estrutura). Como nos questionários aos clientes, os quais precisam de alta definição e clareza, a mesma característica aplica-se aos índices de desempenho de um determinado processo ou serviço. Quando a questão é clara, a resposta também é, e pode-se dispensar, até uma próxima etapa de maior maturidade da empresa, a necessidade de análises mais complicadas.

A necessidade de utilizar metodologias quantitativas de Estatística em Capítulo 7 (Realização de Produto) e Capítulo 8 (Mensuração, Análise e Melhoria) se baseia na eficiência destas metodologias para conhecer grandes populações de produtos ou insumos onde, então, a amostragem se apresenta como ferramenta imprescindível para economizar tempo e recursos. Em parágrafo 7.1 d, dados são coletados na linha de produção para assegurar que a produção reflete os requisitos dos clientes. Estudos que envolvem índices de capacidade são apropriados aqui. A empresa deve exigir do setor de projeto e desenvolvimento um nível de qualidade no processo que garanta a satisfação do cliente (7.3.2). Os requisitos dos clientes são mencionados em 7.3.3 e 7.3.4, primeiro obrigando a empresa a medir as características essenciais do produto do ponto de vista do cliente, e segundo responsabilizando a empresa para periodicamente avaliar todo o processo da relação entre características essenciais e os requisitos do cliente. Nada é melhor do que a estimação de médias e desvios padrão para monitorar a qualidade.

Sem dúvida, o capítulo 8 (Mensuração, Análise e Melhoria) foi escrito pensando diretamente em Controle Estatístico de Processo. Quando o capítulo fala em produto conforme e não conforme (8.1 a e 8.3), auditorias internas (8.2.2) onde a amostragem será essencial, monitoramento (8.2.3) que abre espaço para o uso de gráficos de controle e índices de capacidade, está apontando diretamente para a área de Estatística. Ações corretivas (8.5.2) sinalizam a busca por causas especiais, e ações preventivas (8.5.3) dependem das metodologias de previsão e projeção na área de análise de séries temporais.

Para a organização na fase de certificação ou renovação do ISO 9001-2000, não necessariamente precisa implantar de vez um sistema de estatística altamente avançado em cima das práticas tradicionais. A transformação da empresa do dia para a noite, além de levar custos às estratosferas, muitas vezes, se não sempre, nem funciona direito. O investimento é grande e a diminuição de deficiências na organização sempre é pouco pelo menos nos primeiros meses. Resultado: uma organização frustrada e descontente, e resultado financeiro ameaçado. A implantação de qualquer procedimento novo na empresa, e especialmente procedimentos com base matemática, deve começar num espaço pequeno na fábrica e bem selecionado e crítico, onde o espaço inicial é manejável, oferecendo resultados aparentes e contundentes. Iniciando-se a implantação de métodos estatísticos com apenas gráficos e explicações intuitivas, sem entrar nos detalhes dos cálculos, já oferece, em muitos casos, as condições suficientes para analisar melhor um fenômeno problemático. Mais tarde, em algumas semanas ou talvez meses, com os empregadores acostumados em pensar quantitativamente sobre os procedimentos da organização, técnicas mais abstratas e complexas como amostragem, gráficos de controle avançados e experimentação podem ser levados a cabo numa maneira mais generalizada, espalhando pela empresa e seguramente com

resultados garantidos. Hoje em dia, os famosos gráficos de controle se encontram na análise de todos os aspectos da empresa, aplicações muito mais variadas do que qualquer cenário imaginado pelo Walter Shewhart, seu criador. Melhor ainda, a teoria e sua aplicação correta não precisam mais que um dia de treinamento intensivo para compreender a maior parte das sutilezas.

Nossos comentários são estreitamente ligados a uma área de Engenharia de Produção chamado de Qualidade e Produtividade. Qualidade nos processos da organização implica em ambos empregadores e clientes mais contentes, deficiências nos produtos e processos mínimas, e resultados financeiros melhores.

9.6 Questões para discussão e exercícios

1. No seu lugar de trabalho, faça mensurações de alguma característica importante do processo onde você mesmo se insere. Se fosse linha de produção, poderia ser alguma característica do produto, ou se fosse em escritório administrativo, poderia ser alguma medida de desempenho talvez em termos de tempo. Coloque os dados numa ficha de verificação, e tentar coletar pelo menos 8 amostras por dia de tamanho 9, um total de 72 mensurações por dia e em 5 dias um total de 360 mensurações. Com estes dados, construir um histograma e uma caixa de medianas dia a dia. Certamente vai ver ciclos e padrões na sequência dos gráficos durante a semana. Comentar sobre a variabilidade da média e a dispersão dos dados. Encontrou alguma causa (veja a seção 9.1.2) para explicar estes movimentos?
2. Com os dados que você começou a coletar no primeiro exercício, montar gráficos de controle das médias e das amplitudes. Se tiver pontos fora dos limites, procurar pelas causas. Se encontrar causas, eliminá-las, tirar esses dados dos cálculos dos gráficos e atualizar os limites. Comentar.
3. Muitos especialistas em qualidade não gostam de utilizar o limite de controle inferior para os gráficos p. Discutir.
4. No gráfico de controle das médias, quando o gerente quer limites mais apertados e, portanto mais sensíveis as causas especiais, mas no mesmo tempo ele não quer alterar os limites em termos de três desvios padrão, qual seria o procedimento amostral para resolver este problema.
5. Um gerente da linha de produção utiliza limites de controle de dois desvios padrão, contrariando a sugestão do professor dele que sempre insiste em limites a três desvios padrão da média. O gerente é muito frustrado porque ele muitas vezes não encontra causas especiais correspondentes aos pontos fora dos limites de controle. O que está acontecendo?

9.7 Referências

COSTA, ANTONIO FERNANDO BRANCO; EPPRECHT, EUGÊNIO; CARPINETTI, LUIZ CESAR RIBEIRO. **Controle Estatístico de qualidade**. Editora Atlas, 2004.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. – **Controle da Qualidade – Handbook**. Volumes II, VI (4ª edição) e VII (4ª Edição). São Paulo, Editora McGraw-Hill Ltda e Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1993.

MITTAG, H. – J E RINNE, H. **Statistical Methods of Quality Assurance**. Chapman & Hall
First Edition p.478, 1993.

MONTGOMERY, D. C. – **Introduction to Statistical Quality Control**. 3rd edition. New York: John Wiley & Sons, 1997.

SHEWHART, W. **Statistical method: from the viewpoint of quality control**. Washington: Dover, 1986.

VIEIRA, S. – **Estatística para a Qualidade**. Editora Campus, 1999.

WESTERN ELECTRIC COMPANY, – **Inc. Statistical Quality Control Handbook**. New York: Mac Printing Company, 1956.