

Controlo estatístico da qualidade de produtos alimentares: Gráficos de controlo

Eduardo Esteves

Área Depart. Eng.^a Alimentar
EST/UAlg

RESUMO Este é o primeiro de dois artigos que pretendem divulgar alguns conceitos e técnicas da estatística aplicados ao controlo da qualidade de produtos alimentares. Os tópicos abordados nestes artigos são objecto de estudo mais aprofundado na disciplina de Garantia da Qualidade (3^o Ano de Eng.^a Alimentar da EST). As técnicas que aqui se apresentam podem implementar-se facilmente numa folha de cálculo (e.g. Microsoft Excel para Windows ou OpenOffice para Windows/Linux) e com algumas adaptações, será, com certeza, possível aplicá-las a outras áreas da produção ou mesmo da prestação de serviços.

1. Introdução

Adoptaremos a definição de Mitra (1993) para qualidade, isto é, "A QUALIDADE de um produto ou serviço é a adequação desse produto ou serviço para a utilização pretendida pelo consumidor (ou cliente, ou utente, ou utilizador)." Na gestão da qualidade de indústrias agro-alimentares, o controlo estatístico da qualidade (CEQ) pode entender-se como a totalidade dos meios e actividades através das quais uma empresa agro-alimentar pretende eliminar, em todas as fases do processo produtivo, as causas que originam defeitos (Riveras Villas, 1995). De facto, o CEQ é mais do que a actividade inspectora ou a verificação de que um processo está conforme um dado requisito ou especificação! O CEQ deve concentrar-se na melhoria da qualidade, controlando as causas da variabilidade do processo produtivo ou dos defeitos (não só na recepção da matéria-prima, mas também durante a produção ou no inspecção do produto final) e deve envolver colaboradores e responsáveis.

Os vários aspectos dos produtos ou serviços que contribuem para a qualidade são designados por características de qualidade. Existem várias classificações possíveis dessas características. A que se adopta aqui, divide as características em dois grupos: *variáveis*; e *atributos*. As primeiras são obtidas através de medições, enquanto os atributos correspondem a classificações. Entre as várias técnicas disponíveis para o CEQ abordaremos os gráficos (ou cartas) de controlo (neste artigo) e os planos de amostragem para aceitação (num próximo artigo). Os gráficos de controlo (figura 1) devem-se ao trabalho pioneiro de Walter A. Shewhart na década de 1920 e podem utilizar-se quando se pretende controlar (monitorizar) a qualidade de processos produtivos ou de prestações de serviços. A informação da característica da qualidade para amostras sucessivas do produto (ou serviço) em análise é representada

juntamente com linhas horizontais que representam o nível médio de qualidade (a linha contínua central) e os limites de controlo (linhas tracejadas) (figura 1).

As regras que se resumem no quadro 1, permitem analisar os resultados representados num gráfico de controlo e perceber quando é que um processo está fora-de-controlo, isto é, quando não se está a produzir com determinada qualidade. As regras aplicam-se sucessivamente, ou seja, se não se verificar a 1^a regra, tenta-se a 2^a, e assim em diante. Se nenhuma se aplicar ao processo em análise, incluindo os "casos particulares", então o processo pode considerar-se sob controlo, isto é, está-se produzir ou a prestar um serviço de acordo com a qualidade pretendida.

O que se expôs genericamente pode ser aplicado ao controlo da qualidade de processos de produção ou processamento de alimentos, monitorizando variáveis (por exemplo, volume, peso líquido, espessura, concentração dum dado composto, etc.) ou atributos (por exemplo, embalagens mal-rotuladas ou garrafas com menor volume do que especificado são classificadas como defeituosas).

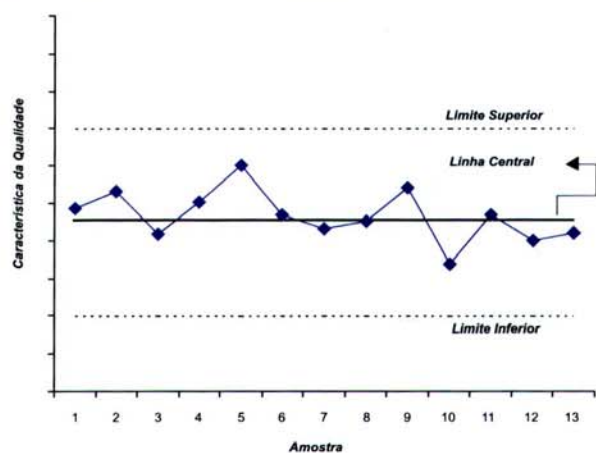


Fig. 1 - Ilustração dum gráfico de controlo-tipo.

A preparação dos gráficos de controlo é tão importante quanto o são os cálculos e a implementação da técnica. Sendo assim:

1) Depois de definir claramente o(s) objectivo(s) do controlo da qualidade, devem decidir-se o número de produtos que constituirão uma amostra e a frequência de amostragem. Qual é o tamanho da amostra n ? No caso de gráficos de variáveis $n=5$ e no caso de gráficos de atributos $5 < n < 50$. E qual é o ritmo de recolha das amostras? É função do ritmo de produção! A selecção dos produtos que vão compor uma amostra deve ser aleatória ("ao acaso") ou seja, todos os produtos devem ter igual probabilidade de ser escolhidos para integrar uma amostra. Desta forma se garante que a amostra é representativa da produção!

| Regra | Descrição |
|-------|---|
| 1ª | Um simples ponto fica fora dos limites de controlo para $z = 3$; |
| 2ª | Do mesmo lado da linha central, dois de três pontos consecutivos ficam fora dos limites de aviso ($z = 2$); |
| 3ª | Do mesmo lado da linha central, quatro de cinco pontos consecutivos ficam fora dos limites para $z = 1$; |
| 4ª | Oito ou mais pontos consecutivos ficam do mesmo lado da linha central |
| 5ª | Os pontos representados no gráfico mostram tendências (ascendentes ou descendentes); |
| e... | Mesmo que nenhuma das regras anteriores se verifique, existem alguns padrões nos resultados que podem indicar falta-de-controlo, nomeadamente o "efeito de salto", os "padrões cíclicos" e a "concentração de pontos junto dos limites de controlo" (ver figura 2). |

Quadro 1 - Regras que se utilizam para analisar os resultados representados num gráfico de controlo. Devem aplicar-se sucessivamente. Se nenhuma se aplicar ao gráfico em análise pode-se afirmar que o processo está sob controlo. O significado de z está explicado no texto.

- 2) Quem e como se vai efectuar o controlo propriamente dito (medir determinada característica ou classificar como defeituoso ou conforme um dado produto)? Onde se vai registar toda a informação?
- 3) E por fim, com base no conhecimento prévio da produção ou das especificações pretendidas (ou por imperativo legal) efectuem-se os cálculos e preparam-se os gráficos de controlo que se utilizarão como técnica de controlo de qualidade. É necessário distinguir os casos que envolvem variáveis daqueles que dizem respeito a atributos. Começaremos pelo controlo por variáveis.

2. Gráficos de controlo por variáveis

De entre os vários tipos de gráficos de controlo que se podem usar, vamo-nos concentrar nos gráficos (de controlo) das médias (a seguir) e das amplitudes (mais à frente). Os cálculos envolvidos baseiam-se em noções de probabilidades e estatística relacionadas com a distribuição de probabilidades normal¹. Sendo assim, a linha central (LC) num gráfico das médias representa a qualidade média pretendida, ou especificada μ , para um dado produto (por exemplo, o peso líquido de embalagens de manteiga deve ser 250 g).

¹ Esta distribuição teórica de probabilidades (também conhecida como "curva normal" ou "curva de Gauss") é de utilização vulgar em muitos campos da ciência e tecnologia. Nesta distribuição, os resultados próximos da média são mais frequentes (*i.e.* mais prováveis) e a probabilidade diminui (de acordo com σ) sempre que os valores se distanciam da média.

Se essa especificação não for definida previamente, é possível obter uma estimativa a partir da média de várias amostras preliminares da produção calculando a "média das médias" dessas amostras, \bar{x} . Para uma dada qualidade média μ , quais são os valores (os limites de controlo) que permitem assegurar com confiança aquela qualidade? Ora bem, existem duas situações: conhece-se a variabilidade do processo σ (o desvio-padrão das medidas); ou não. Quando se conhece σ obtêm-se os limites de controlo L através de:

$$L = \mu \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

em que n é o número de produtos por amostra, σ é o desvio-padrão do processo, μ é a qualidade média e $z = 1, 2$ ou 3 (ver mais adiante). Os limites superiores de controlo (LSC) obtêm-se somando as parcelas ao invés dos limites inferiores de controlo (LIC) que se calculam subtraindo as parcelas na equação anterior (daí a indicação \pm utilizada). No caso de se desconhecer σ , é ainda possível calcular aqueles limites utilizando a informação contida nas amplitudes. Como? A partir dum conjunto de amostras preliminares calcular a média das respectivas amplitudes \bar{R} (isto é, em cada amostra obter a diferença entre o maior e o menor valor, R , e depois calcular a média desses resultados \bar{R}). Os limites de controlo calculam-se, então, recorrendo a:

$$L = \mu \pm z \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \quad (2)$$

em que \bar{R} é a amplitude média (uma medida relativamente grosseira da variabilidade), d_2 é uma constante que se obtém do quadro 2 e o significado dos restantes símbolos mantêm-se.

Os valores atribuídos a z nas equações anteriores reflectem o grau de confiança na qualidade média dos produtos para $z = 1$ é de cerca de 84%, para $z = 2$ é de aproximadamente 95% enquanto que para $z = 3$ ronda os 99,9%.

Contudo, em muitas situações também é apropriado monitorizar a variabilidade da característica da qualidade (por exemplo, se o procedimento envolve o "factor humano"). Para esse efeito podem utilizar-se gráficos de controlo das amplitudes ou gráficos-de- R . Nestes, representam-se as diferenças entre o maior e menor resultado em cada amostra, R , juntamente com a amplitude \bar{R} média e os limites de controlo (considerando apenas $z = 3$):

$$LSC = \bar{R} \cdot D_4 \quad (3)$$

$$LIC = \bar{R} \cdot D_3$$

em que LIC e LSC significam, respectivamente, limite inferior e superior de controlo, e D_3 e D_4 são constantes que se podem obter do quadro 2. Novamente, utilizam-se as regras apresentadas no quadro 1 para interpretar os resultados obtidos. Sempre que se utilizem simultaneamente gráficos das médias e das amplitudes, aconselha-se a análise em primeiro lugar dos gráficos-de- R porque os limites de controlo dos gráficos das médias dependem da variabilidade do processo (equações 1 e 2). Só no caso da variabilidade do processo estar sob controlo é que aqueles limites têm algum significado.

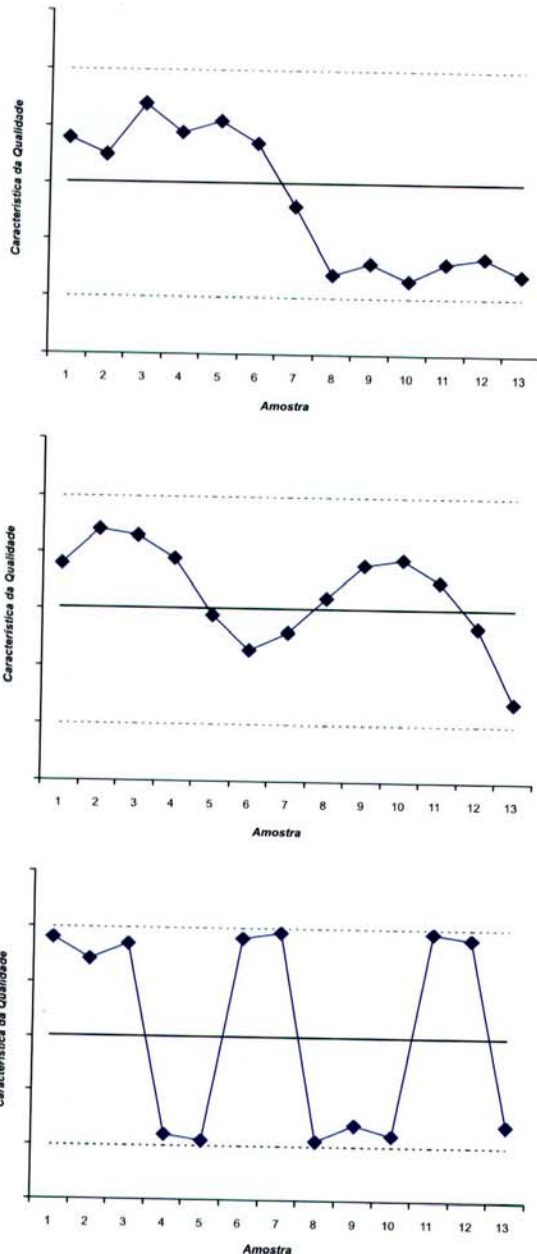


Fig. 2 - Ilustrações de gráficos de controlo em que apesar de nenhuma das regras do Quadro 1 se aplicar os padrões observados indiciam que o processo está fora-de-controlo: "Efeito de salto" (a); "Padrão cíclico" (b) e "Concentração dos pontos junto aos limites" (c). Possíveis causas para os padrões representados em (a) são as alterações na qualidade da matéria-prima no processo (inadvertida ou intencional). No caso ilustrado em (b), as alterações cíclicas das condições ambientais ou sazonais da matéria-prima e a rotação de operadores poderão ser as responsáveis. Em (c) o padrão ilustrado poderá resultar da representação de resultados de mais de um operador ou equipamento ou matéria-prima.

| n | d ₂ | D ₃ | D ₄ |
|----|----------------|----------------|----------------|
| 2 | 1,128 | 0 | 3,267 |
| 3 | 1,693 | 0 | 2,574 |
| 4 | 2,059 | 0 | 2,282 |
| 5 | 2,326 | 0 | 2,114 |
| 6 | 2,534 | 0 | 2,004 |
| 7 | 2,704 | 0,076 | 1,924 |
| 8 | 2,847 | 0,136 | 1,864 |
| 9 | 2,97 | 0,184 | 1,816 |
| 10 | 3,078 | 0,223 | 1,777 |
| 15 | 3,472 | 0,347 | 1,653 |

Quadro 2 - Valores das constantes d₂, D₃ e D₄ para amostras de tamanho 2 < n < 15 elementos, necessários para a elaboração de gráficos de controlo das médias e das amplitudes.

Na figura 3 reproduz-se a aplicação destas técnicas utilizando uma folha de cálculo (Excel para Windows).

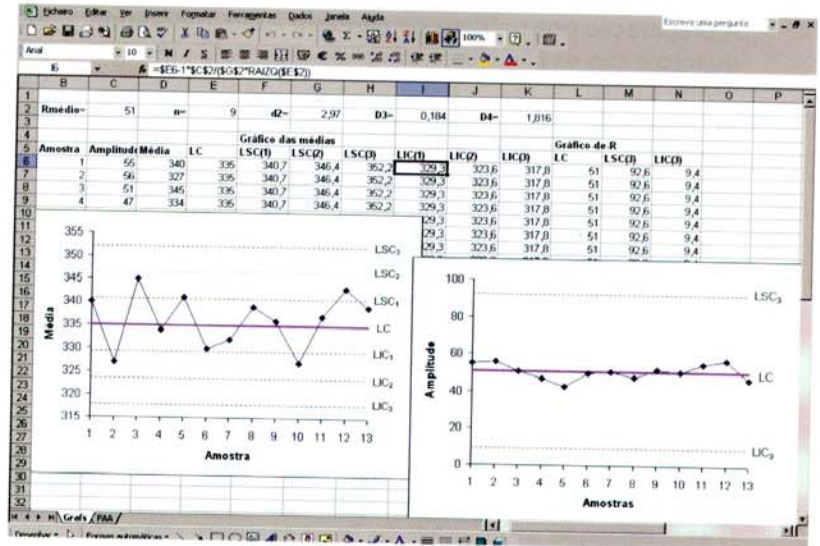


Fig. 3 - Gráficos de controlo das médias e das amplitudes obtidos no Excel para Windows. Atente-se na fórmula inserida na célula I6 (versão portuguesa do software) e evidenciada na linha de comandos: =E6-1*\$C2/(\$G\$2*RAIZQ(\$E\$2)).

3. Gráficos de controlo por atributos

Existem quatro tipos de gráficos por atributos e destes vamos abordar aqui apenas os gráficos de controlo do número de defeituosos (adiante designado por gráfico-de-*np*). Por defeituoso entende-se todo o produto com um, ou mais, defeitos – características da qualidade que não cumprem certa especificação. A obtenção destes gráficos está relacionada com conceitos das probabilidades e estatística relacionados com as distribuições de probabilidades Binomial e de Poisson². Pretende-se que (em média) determinada linha de produção apresente um número de não-conformes bastante reduzido. Esse número corresponde à *LC* num gráfico-de-*np* (por exemplo, "apenas duas embalagens devem estar indevidamente rotuladas num lote de duzentas" ou "até três garrafas num lote de cem, podem conter volume inferior ao rotulado"). Sabendo que $LC = n\bar{p}$ (em que *n* é o tamanho da amostra e \bar{p} é a proporção média de produtos defeituosos) é possível obter os limites de controlo que asseguram a qualidade pretendida recorrendo à equação

$$L = n\bar{p} \pm z\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (4)$$

em que *z* e \pm mantêm os significados atribuídos anteriormente. Sempre que o número de defeituosos numa amostra *x_i* "ultrapasse os limites" obtidos é muito provável que não se esteja a produzir com o número (médio) de defeituosos pretendido.

A interpretação dos resultados segue as regras enunciadas acima para os gráficos por variáveis (cf. quadro 1). A figura 4 ilustra a aplicação destas equações numa folha de cálculo de utilização vulgarizada (Excel para Windows).

² As distribuições teóricas de probabilidades Binomial e de Poisson estão ambas associadas a resultados do tipo "sim"/"não" ou "sucesso"/"falha". A principal diferença reside nas situações em que se aplicam. A distribuição de Poisson pode considerar-se como uma aproximação à distribuição Binomial mais apropriada nos casos em que se estudam "acontecimentos raros", isto é, quando a probabilidade do "sucesso" *p* é reduzida e/ou o tamanho da amostra *n* é grande (por exemplo, quando *n*·*p* < 5).

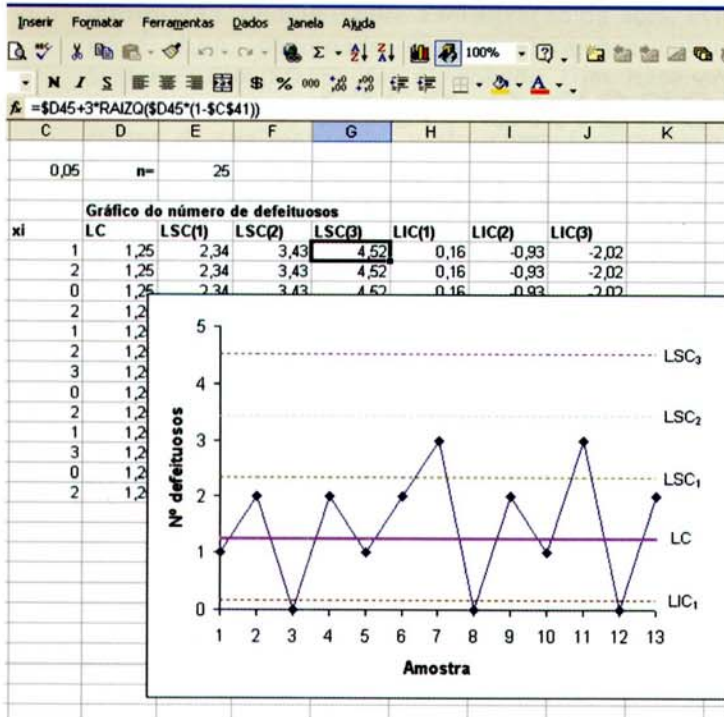


Fig. 4 - Gráfico de controlo do nº defeituosos obtido no Excel para Windows. Não se representaram os limites inferiores de controlo para $z=1, 2$ e 3 uma vez que não faz sentido considerar um nº defeituosos menor do que zero! Atente-se na fórmula inserida na célula G45 (versão portuguesa do software) e evidenciada na linha de comandos: $=\$D45+3*RAIZQ(\$D45*(1-\$C\$41))$.

4. Considerações finais

Em resumo, a preparação e elaboração dos gráficos de controlo permite, então, iniciar o processo de controlo. A informação acerca das amostras é representada no gráfico à medida que se recolhem e analisam as amostras de produto. Deste modo, monitoriza-se a produção e no caso de algo "correr mal" pode ser quase imediatamente identificada a causa e corrigido o problema.

Por limitações de espaço e beneficiando a divulgação do conhecimento relativamente ao formalismo, não é possível abordar os vários tópicos relacionados com os gráficos de controlo aplicados ao CEQ. Este artigo não dispensa o estudo dos manuais dedicados a este assunto (e.g. Juran & Gryna, 1991), de forma a implementar correctamente as técnicas que aqui se apresentaram sumariamente.

5. Referências

- **Juran, J.M. & F.M. Gryna** (1991) *Controle da qualidade: componentes básicos da função qualidade. Volumes I - IX.* McGraw-Hill/Makron, São Paulo.
- **Mitra, A.** (1993) *Fundamentals of quality control and improvement.* Macmillan Publishing Company, USA.
- **Rivera Vilas, L.M.** (1995) *Gestion de la calidad agroalimentaria.* Ediciones Mundi-Prensa & A. Madrid Vicente, Ediciones, México & Madrid.

EUROAÇO

MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

PAVIMENTOS

FERRAMENTAS

EQUIPAMENTOS

ISOLAMENTOS

LOUÇAS

CANALIZAÇÕES

ESTRUTURAS

ETC...

Av. Eng. Duarte Pacheco, 207/B - Apt. 3057 - 8136-901 Almancil
Tel: 289 990 530 - Fax 289 395 500

J. J. BRITO

SOC. DE CONSTRUÇÕES, LDA.

CONSTRUÇÃO CIVIL E OBRAS PÚBLICAS

Materiais de Construção, Escavações, Terraplanagens, Calçadas, Lancis, etc.

TEL.: 289 991 536 / 289 843 692
FAX.: 289 994 916 - TLM: 917811378
BORDEIRA, 8000-704 FARO