

Controlo Estatístico da Qualidade de Produtos Alimentares: Planos de Amostragem para Aceitação

RESUMO Este é o segundo 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 (3º ano do curso de Engª Alimentar da EST). As técnicas que aqui se apresentam podem implementar-se facilmente numa folha de cálculo e com algumas adaptações ou complementos, será possível aplicá-las a outras áreas da produção ou mesmo da prestação de serviços.

Eduardo Esteves

Área Depart. Eng.ª Alimentar
EST/UAlg

1. Introdução

De acordo com Mitra (1993) "A QUALIDADE de um produto ou serviço é a adequação desse produto ou serviço para a utilização pretendida pelo consumidor (cliente, utente ou utilizador)." O controlo estatístico da qualidade (CEQ) na gestão da qualidade de indústrias agro-alimentares, 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. De entre as várias técnicas disponíveis para o CEQ abordámos no artigo anterior (Esteves, 2004) os gráficos (ou cartas) de controlo e neste artigo abordaremos os planos de amostragem para aceitação (PAA). A decisão de aceitar, ou rejeitar, um lote de matéria-prima ou de produto final pode ser baseada em três "tipos de inspecção": *Inspecção a 0%* (quando a "história" do fornecedor é favorável ou não existe justificação económica); *Inspecção a 100%* (quando a matéria-prima ou componente é extremamente "crítico"

ou quando o único fornecedor proporciona matéria-prima de qualidade variável); ou *planos de amostragem* (que permitem ultrapassar algumas "dificuldades" dos tipos anteriores). Os procedimentos de inspecção de amostras com o propósito de aceitar ou rejeitar um lote com base na sua conformidade com especificações designam-se planos de amostragem para aceitação ou PAA (figura 1). Os PAA são utilizados para tomar uma decisão acerca da aceitação, ou rejeição, de um lote e não para estimar a sua qualidade ou para controlar, directamente, a qualidade do produto! Consideraremos dois tipos de PAA: por atributos (se apenas se consideram os produtos como conformes ou defeituosos); e por variáveis (se, pelo contrário, estamos interessados na qualidade média do lote).

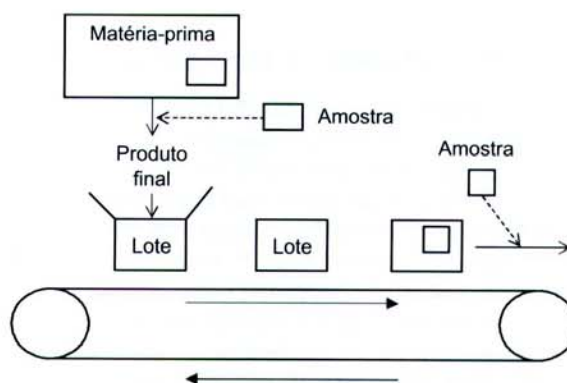


Fig. 1 - Diagrama do processo de amostragem para aceitação de lotes de matéria-prima ou de produto final. A decisão de aceitar ou rejeitar um lote (---) baseia-se na análise de uma, ou mais, amostras representativas desse lote (adaptado de Juran & Gryna, 1991).

Quando comparados com a inspecção a 100%, os PAA têm diversas vantagens: o custo é inferior (em produto, pessoal, etc.); é menor a manipulação do produto; são

aplicáveis quando a análise é destrutiva; é menor o “erro de inspecção”; e a rejeição de lotes inteiros em virtude do número de defeituosos é motivação para o fornecedor melhorar a qualidade da matéria-prima. Como importantes desvantagens dos PAA podem salientar-se a necessidade de maior planificação e documentação do que a inspecção a 100%, e a existência dos riscos de rejeitar lotes “bons” (erro estatístico de tipo I, designado “risco do produtor” α) e de aceitar lotes “maus” (erro de tipo II, designado “risco do consumidor” β).

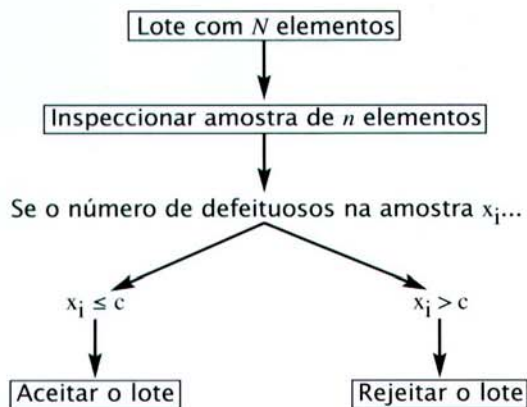


Fig. 2 - Esquema dum PAA por atributos simples.

Antes de se apresentar o modo de conceber um PAA, é conveniente abordar alguns aspectos importantes. O modo como o lote é constituído influencia o PAA. Assim, é necessário considerar três condições importantes, *i.e.* os lotes devem ser homogêneos; constituídos por elevado número de elementos; e “arrumados” de modo a facilitar a selecção das unidades da amostra. Por outro lado, os critérios de selecção da amostra são extremamente importantes para assegurar a validade do trabalho, por isso, os elementos da amostra têm de ser seleccionados aleatoriamente (critério aleatório simples ou estratificado)¹. Os “vícios” mais comuns na selecção de amostras são: amostrar sempre a mesma posição em todos os lotes; conhecer o produto e seleccionar apenas os defeituosos; ignorar as partes do lote que são inconvenientes de amostrar; e decidir por um critério aleatório estratificado quando não se sabe se o lote é, ou não, homogêneo.

2. PAA por atributos (simples)

Neste caso, pretende-se aceitar (ou rejeitar) um lote com base na análise da proporção (ou número) de elementos defeituosos. De facto, um Plano de Amostragem para Aceitação (PAA) por atributos (simples) corresponde a: 1º dum lote com N unidades, seleccionar aleatoriamente uma amostra de n elementos; 2º se o número de itens defeituosos (ou não-conformes) na amostra $x_i \leq c$ (número de aceitação) pré-estabelecido aceita-se o lote. Se, pelo contrário, $x_i > c$ rejeita-se o lote (figura 2). O valor de c está associado ao conceito de AQL. AQL (do inglês “Acceptable Quality Level”) é o Nível de Qualidade Aceitável *i.e.* é a proporção máxima de defeituosos

aceitável. Podemos definir, ainda, o LQL (em inglês “Limiting Quality Level”) – ou nível de qualidade limitante – que é a proporção de defeituosos na amostra que não é aceitável² e que, por isso, determina a rejeição do lote pelo PAA. A aceitação, ou rejeição dos lotes está relacionada com a fracção de defeituosos no lote p e com a probabilidade de aceitação P_A .

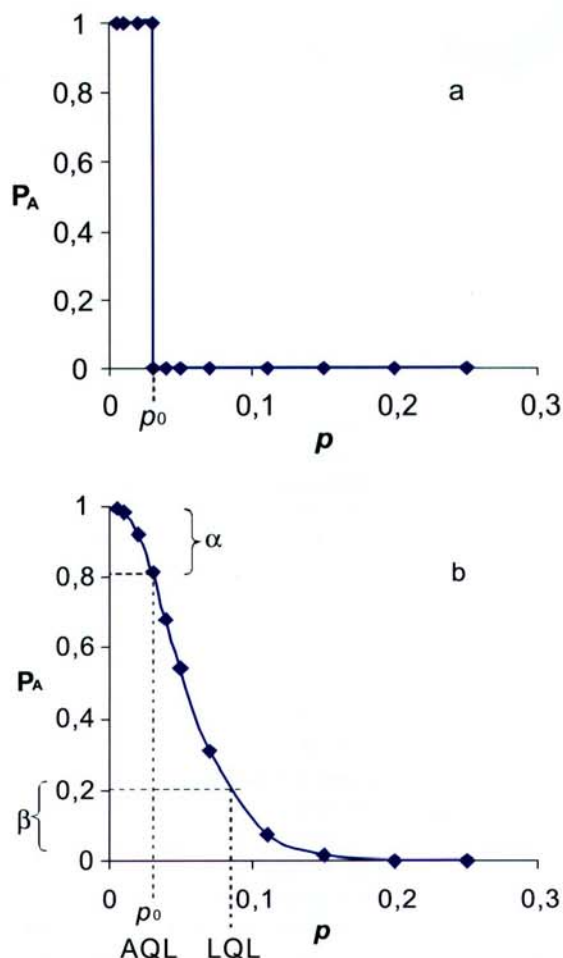


Fig. 3 - Relação “ideal” (a) e “real” (b) entre a probabilidade de aceitação dum lote (P_A) e a proporção de defeituosos no lote (p).

Num “mundo ideal”, determinada fracção de defeituosos p_0 seria suficiente para distinguir sempre os lotes “bons” dos lotes “maus” (figura 3a)! Infelizmente, na prática isso não acontece! De facto, em virtude de se analisarem amostras (e não os lotes por inteiro) o “sucesso” dos PAA depende dos riscos (probabilidades) α e β (figura 3b), sendo que $\alpha = 1 - P_{A|AQL}$ e $\beta = P_{A|LQL}$ em que P_A é a probabilidade de aceitação (associada a AQL ou LQL) e se calcula recorrendo às probabilidades acumuladas das distribuições binomial ou de Poisson³. A forma da curva⁴ representada na figura 3b, característica dum dado PAA, depende do tamanho da amostra n e do número máximo de itens defeituosos aceitável c . Fazendo variar estes dois parâmetros é possível obter a curva (ou seja, o PAA) em conformidade com os riscos do produtor e consumidor desejados. Ilustra-se, na figura 4, a influência de c e n sobre o PAA nos casos em que $N \gg n$.

¹ O critério aleatório estratificado utiliza-se no caso de lotes não-homogêneos (quando as unidades do lote resultam de máquinas ou operadores diferentes, por exemplo).

² Quando expressa em % é usualmente referida por “Lot Tolerance Percent Defective” (ou LTPD) nos manuais em inglês.

³ Consideram-se aqui os casos em que os processos são contínuos e $N > 10 \cdot n$. No Excel, por exemplo, usar a função = DISTRBINOM(c;n;p;verdadeiro) para número de aceitação c , tamanho da amostra n e proporção de defeituosos no lote p .

⁴ Curva Característica de Operação (Curva CO) de tipo B.

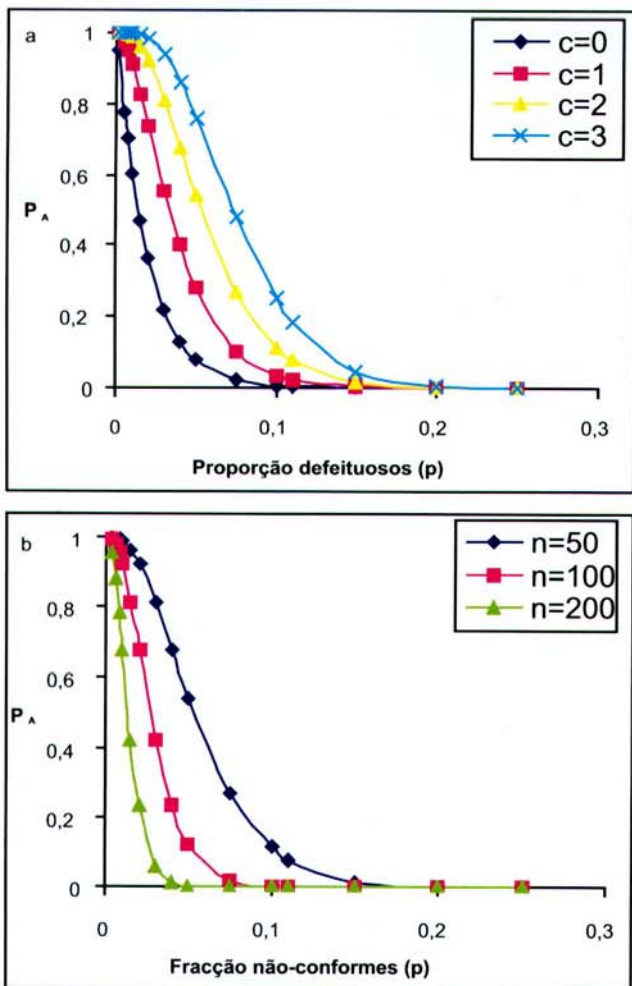


Fig. 4 - Influência do número de aceitação c (a) e do tamanho da amostra n (b) sobre a curva PA vs. P.

No entanto, com o intuito de diminuir consideravelmente o trabalho de preparação e estudo das Curvas CO, ilustradas nas figuras 3 e 4, sob diferentes condições para adaptação do PAA aos critérios de qualidade que a empresa pretende seguir, o *American National Standards Institute* e a *American Society for Quality Control*, desenvolveram o sistema de amostragem denominado ANSI/ASQC Z1.4 – *American National Standard – Sampling Procedures and Tables for the Inspection by Attributes*. Este sistema de amostragem, deriva dos planos de amostragem do Exército Americano, *Military Standard 105A* (Tabelas MIL-STD), desenvolvidos durante a 2ª Guerra Mundial. Das várias alterações àquela versão, a de 1971 foi adoptada pelo ANSI como ANSI/ASQC Z1.4: 2003. A *International Organization for Standardization* (ISO) aceitou a norma ANSI/ASQC Z1.4 com pequenas alterações e editou as normas ISO 2859 -1/2: 1995/1999.

Enquanto as Tabelas MIL-STD são planos de amostragem, as normas ANSI/ASQC Z1.4 e ISO 2859 são sistemas de amostragem, que providenciam regras para selecção do plano de amostragem mais apropriado à situação em análise. A parte mais importante da norma ANSI/ASQC Z1.4 é o AQL. É usual considerarem-se

diferentes valores de AQL consoante a “importância da não-conformidade”: críticas, $AQL \leq 0,1\%$; graves, $AQL \approx 1\%$; ou menos graves, $2\% < AQL < 4\%$.

| Dimensão do lote N | Níveis gerais de inspecção | | | | |
|--------------------|----------------------------|--------|-----|---|---|
| | I | II | III | | |
| 2 | a | 8 | A | A | B |
| 9 | a | 15 | A | B | C |
| 16 | a | 25 | B | C | D |
| 26 | a | 50 | C | D | E |
| 51 | a | 90 | C | E | F |
| 91 | a | 150 | D | F | G |
| 151 | a | 280 | E | G | H |
| 281 | a | 500 | F | H | J |
| 501 | a | 1200 | G | J | K |
| 1201 | a | 3200 | H | K | L |
| 3201 | a | 10000 | J | L | M |
| 10001 | a | 35000 | K | M | N |
| 35001 | a | 150000 | L | N | P |
| 150001 | a | 500000 | M | P | Q |
| 500001 | e | mais | N | Q | R |

Quadro 1 - Códigos a utilizar no quadro 2, por exemplo, em função da dimensão do lote e nível geral de inspecção pretendido (adaptado de Mitra, 1993).

A implementação deste sistema de amostragem pode ser resumida nos seguintes passos: 1) Determinar AQL; 2) Seleccionar *a priori* o nível geral de inspecção: do menos rigoroso (I) ao mais rigoroso (III) (é comum utilizar inicialmente o Nível II)⁵; 3) A partir da dimensão do lote N e do nível geral de inspecção, determinar o código (quadro 1); 4) Para o tipo de PAA, código e tipo de inspecção (normal, reforçada ou reduzida), identificar o plano de amostragem, designadamente o tamanho da amostra n e o número de aceitação c (e.g. quadro 2 para inspecção normal⁶); 5) Para um PAA simples: dum lote de N unidades, seleccionar uma amostra de n elementos; se nessa amostra o n° de defeituosos $x_i \leq c$ aceitar o lote, caso contrário ($x_i > c$) rejeitar o lote. O tipo de inspecção nos lotes seguintes varia ao longo do tempo “em resposta” aos resultados da aplicação do PAA (ver figura 5).

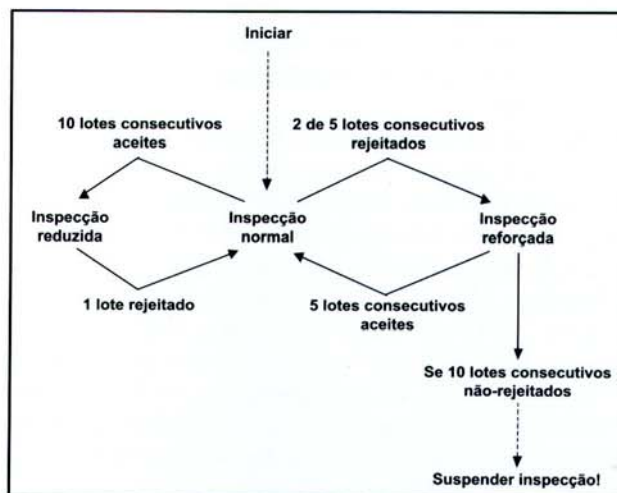


Fig. 5 - Diagrama das principais regras de alteração entre tipos de inspecção quando se utiliza a norma ANSI/ASQC Z1.4 (ou ISO 2859-1/2). Por exemplo, um plano de amostragem para aceitação com inspecção de tipo normal deve ser alterado, para inspecção de tipo reforçado, se dois de cinco lotes consecutivos forem rejeitados. Mais tarde, se porventura cinco lotes consecutivos forem aceites de acordo com este último plano de amostragem, é possível voltar a uma inspecção de tipo normal.

⁵ Enquanto o nível geral de inspecção é seleccionado *a priori*, os tipos de inspecção são ditados pelos resultados do processo de inspecção (ver figura 5).

⁶ Outras tabelas para PAA simples poderão obter-se no sítio <http://w3.ualg.pt/~eesteves>.

$$-Z_{\beta} = \frac{\bar{X}_{AS} - \bar{X}_{2S}}{(\sigma / \sqrt{n})} \quad (6).$$

De um lote com N unidades, selecciona-se aleatoriamente uma amostra de n elementos e obtém-se a média \bar{x} da característica da qualidade. Se $\bar{X}_{AI} < \bar{x} < \bar{X}_{AS}$ então aceita-se o lote; caso contrário, rejeita-se o lote.

Exemplo: O peso das embalagens de um produto deve estar compreendida entre 45 e 47 g. A probabilidade de aceitar embalagens com estes pesos deve ser de 0,1. Para um risco do produtor de 0,05 e sabendo que o desvio-padrão do processo é 0,6 g, o PAA a implementar é: seleccionar aleatoriamente uma amostra de 4 produtos do lote; e se o peso médio das embalagens nessa amostra for inferior a 45,41 g ou superior a 46,59 g, rejeitar o lote.

4. Considerações finais

Os planos de amostragem permitem decidir sobre a aceitação ou rejeição dum lote (de matéria-prima, de produto final, etc.) com base na inspecção dum amostra representativa desse lote. Assim se diminuem os custos e controlam os "erros" de decisão, apesar dos PAA exigirem maior planificação e documentação.

Abordaram-se, apenas, alguns dos tópicos relacionados com a amostragem para aceitação em CEQ, por limitações de espaço e beneficiando a divulgação do conhecimento relativamente ao formalismo. Este artigo não dispensa o estudo de manuais dedicados ao assunto (e.g. Grant & Leavenworth, 1996; Juran & Gryna, 1991; Mitra, 1993) e das normas aplicáveis, de forma a implementar correctamente as técnicas que aqui se apresentaram sucintamente.

5. Agradecimentos

Este artigo muito beneficiou com os comentários e as sugestões do Eng.º Jorge Pereira e do Doutor Jaime Aníbal ao manuscrito inicial.

6. Referências

- **Esteves, E.** (2004) "Controlo estatístico da qualidade de produtos alimentares: gráficos de controlo". *Tecnovisão, Revista de Divulgação Tecnológica*, 16: 20-24.
- **Grant, E.L. & R.S. Leavenworth** (1996) *Statistical Quality Control*. 7th Edition, WCB McGraw-Hill, Boston.
- **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) *Gestión de la calidad agroalimentaria*. Ediciones Mundi-Prensa & A. Madrid Vicente, Ediciones, México & Madrid.



OASIS

CONSTRUTORES

PISCINAS

TÉNIS

Tel. 289 813230 Fax: 289 802591
www.oasispiscinas.com

AVENIDA 5 DE OUTUBRO, Nº 7 R/C F
8000-077 FARO

Azul Índigo
Pinturas e Restauraos, Lda

- Pintura de Construção Civil.
- Restauro de Bens Imóveis Histórico-Artísticos.
- Marcação a frio, de Vias de Comunicação.
- Marcação de Sinalização não Eléctrica e Dispositivos de Protecção e Segurança em Parques de Estacionamento.

Rua D. Carlos I
Apartado 85 – 8500 Portimão
Tel. 282 415 170
Fax. 282 415 743