

Sílabo

Gestão

# Estatística para a Qualidade



António Ramos Pires

*Edições Sílabo*



# **Estatística para a Qualidade**

*Ao João e à Odete.*

**sílabo gestão**

---

# **Estatística para a Qualidade**

ANTÓNIO RAMOS PIRES



É expressamente proibido reproduzir, no todo ou em parte, sob qualquer forma ou meio gráfico, eletrónico ou mecânico, inclusive fotocópia, este livro. As transgressões serão passíveis das penalizações previstas na legislação em vigor. Não participe ou encoraje a pirataria eletrónica de materiais protegidos. O seu apoio aos direitos dos autores será apreciado.

Visite a Sílabo na rede  
[www.silabo.pt](http://www.silabo.pt)

#### FICHA TÉCNICA:

Título: Estatística para a Qualidade

Autor: António Ramos Pires

© Edições Sílabo, Lda.

Capa: Pedro Mota

1ª Edição – Lisboa, setembro de 2018

Impressão e acabamentos: Cafileza – Soluções Gráficas, Lda.

Depósito Legal: 443519/18

ISBN: 978-972-618-957-2



**EDIÇÕES SÍLABO, Lda.**

Publicamos conhecimento

Editor: Manuel Robalo

R. Cidade de Manchester, 2

1170-100 Lisboa

Tel.: 218130345

e-mail: [silabo@silabo.pt](mailto:silabo@silabo.pt)

[www.silabo.pt](http://www.silabo.pt)

# Índice

<b>Prefácio</b>	11
<b>CAPÍTULO 1 – TRATAMENTO DE DADOS</b>	
§ 1. Introdução	15
§ 2. Alguns dos objetivos do tratamento de dados	15
§ 3. Exemplos de problemas típicos	16
§ 4. Inferência estatística	17
4.1. Limites de confiança	19
4.2. Testes de hipóteses	23
§ 5. Resolução dos exemplos	32
<b>CAPÍTULO 2 – ESTUDO DA CAPACIDADE DA INSPEÇÃO</b>	
§ 1. Introdução	37
§ 2. Exemplos	43

## CAPÍTULO 3 – CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO

§ 1. Introdução	55
§ 2. Conceitos fundamentais	57
§ 3. Primeiro exemplo de carta de controlo ( $\bar{X}$ , $R$ )	59
3.1. Aplicação das cartas de controlo	61
§ 4. Estabelecimento de uma carta de controlo	62
§ 5. Controlo com e sem especificação	65
§ 6. Porquê usar médias em vez de valores individuais	66
§ 7. Tipos de cartas mais usuais	68
§ 8. Padrões de variação	69
§ 9. Interpretação das cartas	71
9.1. Situações típicas fora de controlo	71
9.2. Situações de variação anormal e fora de controlo	72
9.3. Determinação da percentagem fora dos limites de controlo	74
§ 10. Resumo das fórmulas de cálculo para as cartas de controlo (ASTM 2010)	74
10.1. Cartas de controlo sem especificação	74
10.2. Cartas de controlo com especificação	78
10.3. Valores individuais	79
§ 11. Casos especiais de aplicação	82
11.1. <i>Short Runs</i> (produção em lotes pequenos)	82
11.2. Produção de peças unitárias (caso de máquinas ferramentas)	82
11.3. Pré-controlo	83
11.4. Variáveis do tipo «menor é melhor»	84
11.5. Variáveis do tipo «maior é melhor»	84
§ 12. Outras cartas de controlo (CUSUM e EWMA)	85
12.1. Cartas CUSUM (Soma Acumulada)	85
12.2. Cartas EWMA	85
§ 13. Estudos da capacidade do processo	94



## **CAPÍTULO 4 – CONTROLO POR AMOSTRAGEM**

### **Secção 1. Controlo por amostragem – atributos**

§ 1. Introdução	99
§ 2. Conceitos fundamentais	100
§ 3. Estabelecimento de um plano de amostragem	102
§ 4. Exemplo do uso de uma tabela de números aleatórios	103
§ 5. Inspeção simples, dupla e múltipla	104
§ 6. Exemplos do uso das tabelas da norma ANSI/ASQC Z 1.4	105
6.1. Explicação dos exemplos	106
6.2. Significado das legendas	109
§ 7. Comparação entre amostragem simples, dupla e múltipla	109
§ 8. Níveis de controlo e procedimento para mudança do nível da inspeção	110
8.1. Comparação entre os níveis de controlo normal, reduzido e rigoroso	110
8.2. Mudança do nível da inspeção	110
§ 9. Curva característica operacional (C.C.O.)	117
9.1. Curva característica ideal	117
9.2. Curva característica real	117
§ 10. Construção da curva característica operacional	118
§ 11. Explicação empírica dos números de aceitação e rejeição	121
§ 12. Conceitos de <i>AOQL</i> , <i>ASNE</i> e <i>ATI</i>	122
12.1. <i>AOQL (Average Outgoing Quality Limit)</i> – (Limite da Qualidade Média de Saída)	122
12.2. <i>ASN (Average Sample Number)</i> e <i>ATI (Average Total Inspection)</i>	124

### **Secção 2. Controlo por amostragem – Variáveis**

§ 1. Introdução	125
§ 2. Comparação entre planos para atributos e variáveis	126
§ 3. Aplicação	127
3.1. Condições básicas para a aplicação	127
3.2. Áreas de aplicação	127
§ 4. Fundamentos dos planos de controlo por variáveis	127
§ 5. Uso da norma ANSI/ASQ Z 1.9	128

§ 6. Secção A – Descrição geral dos planos de amostragem	130
§ 7. Secção B – Variabilidade desconhecida – método do desvio padrão	130
7.1. Parte I – Especificação com apenas um limite	130
7.2. Parte II – Especificação com dois limites	132
§ 8. Secção C – Variabilidade desconhecida – método da amplitude	135
8.1. Parte I – Especificação com apenas um limite	135
8.2. Parte II – Especificação com dois limites	137
§ 9. Secção D – Variabilidade conhecida	140
9.1. Parte I – Especificação com apenas um limite	140
9.2. Parte II – Especificação com dois limites	143
<b>CAPÍTULO 5 – MONITORIZAÇÃO, ANÁLISE E MELHORIA</b>	159
<b>Tabelas estatísticas</b>	183
<b>Bibliografia</b>	205

# Prefácio

As dinâmicas empresariais aceleram a ritmos nunca vistos. As **tecnologias** e outras evoluções estão a alterar os **quadros de referência, tornando-os rapidamente obsoletos**. As alterações são cada vez mais drásticas e frequentes, acarretando profundas adaptações. A evolução do acesso a dados e aos meios de comunicação torna a **análise da informação perturbante**, sendo mais **difícil distinguir qual a informação relevante** para o conhecimento e a tomada de decisão de forma atempada.

**Para a gestão em geral e o movimento da qualidade em particular, importa conduzir a inovação, alavancar a informação em tempo real, conceber qualidade** em produtos e processos inovadores, manter a organização **ágil**, adaptar **novas tecnologias** e materiais, redefinir o **entendimento das necessidades** não satisfeitas.

Muitos sentimentos surgem, alguns deles contraditórios entre si. Em primeiro lugar, a constatação da importante evolução dos conceitos, técnicas e métodos de gestão da qualidade. Em segundo lugar, o alargamento dos setores de atividade em que se introduziram sistemas da qualidade. Em terceiro lugar vemos com preocupação algumas situações perigosas de descrença e não uso de técnicas e métodos provados de controlo da qualidade. Alguns por acreditarem que estes já estão imbuídos nos processos e outros porque as situações de instabilidade em que vivem não favorecem abordagens planeadas e sistemáticas, apostando apenas em abordagens intuitivas.

As técnicas estatísticas, bem como outras mais conotadas com a engenharia e as ciências exatas, têm vindo a ser preteridas por outras mais acessíveis e intuitivas, que sem questionarmos os seus contributos, não podem substituir aquelas, sendo redutora essa análise e mesmo arriscada.

Embora nem sempre de modo tradicional, mas a qualidade tem vindo a assumir uma condição mais significativa da sua importância: a qualidade já não se discute, porque sem ela a organização não sobrevive (daí, eventualmente as percepções de que

já não é relevante); a qualidade é inquestionável (daí, eventualmente, as decisões de que não interessam os custos da sua obtenção).

As técnicas estatísticas têm aplicações vastas, umas mais simples e acessíveis e outras mais sofisticadas e que necessitam de mais conhecimentos para a sua correta aplicação. Este livro pretende apresentar um conjunto de técnicas estatísticas de uso geral, de forma pragmática. Não se esquecem os conceitos teóricos fundamentais, mas privilegiamos as aplicações tão próximas quanto possível das práticas das organizações.

Tendo em conta os quadros de incerteza e as dinâmicas aceleradas das organizações, também sabemos que **para reduzir a incerteza, o nível de conhecimento tem de estar mais elevado. E muito do conhecimento próprio e diferenciador advém das experiências e vivências das organizações.** As técnicas estatísticas de controlo dos processos e de análise de dados são instrumentos relativamente simples, mas que colocam o conhecimento e o entendimento dos processos tecnológicos e de negócios em patamares qualitativamente muito superiores aos que se baseiam apenas na intuição e em dados não tratados.

A complexidade crescente das interações técnicas entre hardware e software, bem como entre agentes internos e externos às organizações, apela a mais e sofisticadas técnicas e métodos de controlo e gestão, e nunca a menos.

Não se trata mais de convencimento, de filosofia de gestão, mas de ação. As organizações precisam de introduzir, não uma qualquer técnica milagrosa, mas sim mais técnicas e métodos, de acordo com a complexidade dos problemas e o nível de competitividade dos processos, tecnologias e mercados. Contudo, deve ser lembrado que as pessoas e as organizações necessitam de tempo para aprender, embora as condições de aprendizagem permitam que esta se faça de forma mais acelerada. Por outro lado, aquelas organizações que não tenham aprendido a usar adequada e exaustivamente as técnicas mais simples, não conseguirão utilizar as mais sofisticadas. Esta foi uma das razões para elaborarmos este livro com as técnicas estatísticas mais usuais. Quando forem adequadas outras mais sofisticadas, estas serão melhor entendidas se as mais usuais já tiverem feito a sua aprendizagem.

O desenvolvimento exponencial das tecnologias da informação e comunicação facilitam, quer a recolha de dados, quer o seu tratamento para suportar as decisões. Mas, o conhecimento suficiente para os interpretar terá sempre de existir.

A presente obra pretende constituir um documento de partida para quem pretenda resposta às questões enunciadas acima. Não baseamos a abordagem na problematização dos conceitos, embora não a evitemos, mas privilegiamos as orientações mais úteis para a ação.

Embora as técnicas aqui abordadas se centrem nos processos de produção e fornecimento do serviço, sabemos que outros domínios requerem outras técnicas e abordagens. Por exemplo, a redução drástica, que se têm vindo a verificar, nos ciclos de conceção e desenvolvimento dos produtos/serviços, veio evidenciar que a competitividade se desloca para essas fases iniciais e em particular para as atividades que

se relacionam diretamente com os mercados e a identificação das necessidades e expectativas das pessoas e das sociedades.

O Capítulo 1 introduz o leitor nos conceitos e nos objetivos essenciais do tratamento de dados, nomeadamente a inferência estatística e os testes de hipóteses.

O Capítulo 2 é inteiramente dedicado ao estudo da capacidade da inspeção.

O Capítulo 3 centra-se no controlo estatístico dos processos, em particular as cartas de controlo e os estudos de capacidade dos processos.

O Capítulo 4 é dedicado ao controlo por amostragem, quer se trate de variáveis, quer de atributos.

O Capítulo 5 apresenta uma metodologia de melhoria (6 Sigma) que requer o uso de técnicas estatísticas, que frequentemente se aplica de forma integrada com outra metodologia (*Lean management*).

Os anexos contêm um conjunto de tabelas estatísticas de suporte às aplicações.

Esta obra interessa a três tipos diferentes de leitores: os gestores poderão extrair daqui uma ideia clara das técnicas mais comuns, bem como as vantagens da sua aplicação; os técnicos da qualidade, do ambiente, da segurança, e de outras áreas, poderão encontrar uma sistematização de conceitos e uma guia prático para o uso de técnicas estatísticas; por fim, os estudantes de engenharia, gestão, economia, poderão encontrar uma abordagem pragmática e profissionalizante de várias técnicas e métodos.

Por último, gostaríamos de chamar a atenção para o facto de a qualidade estar a ganhar, definitivamente, o estatuto de disciplina do conhecimento técnico científico. A qualidade não é mais uma atividade de entusiastas, mas sim o domínio de trabalho, investigação e desenvolvimento de uma parte da comunidade técnico-científica.



# Capítulo 1 – Tratamento de dados

## § 1. Introdução

O uso de técnicas estatísticas para tratamento de dados é uma necessidade básica da generalidade das atividades de qualquer organização. Nesta secção, pretende-se introduzir alguns métodos elementares de inferência estatística, nomeadamente a estimação e os testes de hipóteses, necessários para a compreensão de algumas das técnicas mais usuais, como sejam o controlo estatístico do processo e o controlo por amostragem.

## § 2. Alguns dos objetivos do tratamento de dados

Alguns dos problemas típicos que podem ser resolvidos pelo tratamento de dados são os seguintes:

1. Determinar a eficácia de um número limitado de resultados de ensaios na estimação do verdadeiro valor de uma característica de um produto.
2. Determinar o número de ensaios necessários à obtenção de dados que possibilitem retirar conclusões.

3. Comparar os resultados de ensaios entre duas ou mais alternativas de concepção, ou comparação dos resultados dos ensaios com os valores das especificações.
4. Planejar experiências para determinar se a influência de um parâmetro é significativa no desempenho de uma característica (centramento e/ou variabilidade).
5. Determinar relações quantitativas entre duas ou mais variáveis.

### § 3. Exemplos de problemas típicos

Apresentam-se de seguida alguns tipos de problemas que podem ser resolvidos com a ajuda da estimação de parâmetros e dos testes de hipóteses. A resolução destes exemplos é apresentada no §5.

EXEMPLO 1. Uma ferramenta produz anilhas de mola com um diâmetro médio de 2,05 cm e um desvio padrão de 0,03 cm. Um grupo de 10 anilhas de um único lote apresenta os valores indicados. Existe evidência suficiente para concluir que este lote tem um diâmetro médio superior?

EXEMPLO 2. Dados de ensaios anteriores mostram que a dureza (*Rockwell*) média de anéis em bronze é de 49,95. Um novo processo foi desenvolvido para obter uma dureza superior. Uma amostra de 61 peças mostra uma média de 54,62 e um desvio padrão de 2,0. Podemos concluir que o novo processo tem uma dureza significativamente superior?

EXEMPLO 3. Dois métodos diferentes de aplicação de esmaltes para revestimento cerâmico foram desenvolvidos. Uma amostra de 14 valores foi retirada de cada uma das aplicações. Os valores obtidos para a densidade foram os indicados. Temos dados suficientes para concluir que existe diferença significativa entre os dois métodos de aplicação no que diz respeito à uniformidade?

EXEMPLO 4. A inspeção visual de um lote de 1000 mosaicos de um determinado padrão apresentou 87% de peças de 1ª qualidade, enquanto dados do passado de um padrão similar apresentavam uma média de 83%. O novo padrão é melhor que o anterior?

EXEMPLO 5. Um lote de 1000 peças fornecidas por um fornecedor tinha 2,6% de elementos defeituosos. Um lote de 1500 resistências similares doutro fornecedor tinha 1,9% de elementos defeituosos. Podemos concluir que a qualidade do processo de fabrico de um fornecedor é inferior à do outro?



EXEMPLO 6. Num teste de resistência ao desgaste em mosaicos cerâmicos (20 mosaicos testados) mostrou que 5% estavam abaixo do valor especificado. Um novo revestimento foi desenvolvido, tendo mostrado 3% de mosaicos abaixo do valor especificado. Podemos concluir que o novo revestimento é melhor que o antigo?

## § 4. Inferência estatística

A inferência estatística, engloba tradicionalmente:

- Estimação de parâmetros, e
- Testes de hipóteses estatísticas

A *estimação* é o processo de prever o verdadeiro valor de um parâmetro de uma população, através da análise de uma amostra representativa dessa mesma população.

A estimativa compreende a obtenção de um valor para o parâmetro (por exemplo a média de 10 valores) e a indicação de um *intervalo de confiança* para o valor estimado, isto é, o intervalo em que o verdadeiro valor do parâmetro se encontrará, com uma determinada probabilidade (*grau de confiança*  $1 - \alpha$ ).

Neste contexto, quando falamos de parâmetros, referimo-nos à distribuição teórica (ex.: média, variância,...) e quando falamos de características referimo-nos às variáveis da qualidade em estudo.

### ◆ EXEMPLO

Uma amostra de 10 peças esmaltadas mostra os seguintes valores para o peso (em gramas) do revestimento: 65,7 65,0 65,5 64,9 64,7 64,4 66,6 66,9 67,5 64,0.

A média da amostra é 65,52; supondo um desvio padrão de 1, o intervalo de confiança a 95% para a média da população é:

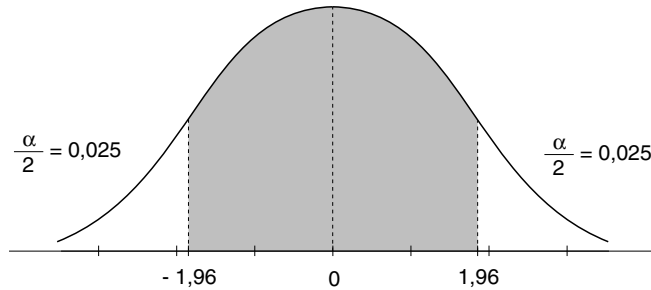
$$64,9(65,52 - 1,96 \frac{1}{\sqrt{10}}) \quad \text{a} \quad 66,14(65,52 + 1,96 \frac{1}{\sqrt{10}}) \quad (\text{ver 4.1})$$

Dito de outro modo, o verdadeiro valor do peso do revestimento estará compreendido entre os valores de 64,9 e 66,14 com uma probabilidade de 95%.

Os testes de hipóteses têm por objetivo verificar a validade estatística de uma afirmação (pressuposto, ou ponto de partida) acerca de uma população, normalmente um valor numérico para uma característica da população. Esta verificação faz-se através da análise de uma amostra de dados.

◆ *EXEMPLO*

Um fabricante de agulhas desenvolveu um novo método para reduzir o diâmetro das mesmas. O método atual mostra uma média de 0,076 cm e um desvio padrão de 0,010 cm. Uma amostra de 25 agulhas do novo método mostra uma média de 0,071. Se for desejado um diâmetro menor, o novo método deve ser adotado? (assumir o mesmo desvio padrão nos dois métodos). Dito de outro modo, queremos saber se a média se mantém, sabendo que foram introduzidas alterações no processo.



$$\mu = 0,076 \text{ cm}$$

$$\sigma = 0,010 \text{ cm}$$

$H : \mu = \mu_0 = 0,076$  (Hipótese: as duas médias não diferem estatisticamente)

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} = \frac{0,071 - 0,076}{0,010/\sqrt{25}} = \frac{-0,005}{0,002} = -2,5 \quad (\text{ver 4.2.2})$$

Sendo:

$H$  — hipótese a testar.

$\mu$  — valor a testar (valor que se supõe ser a média da população).

*Conclusão:*

Como o valor de  $Z$  está fora da região de aceitação ( $-1,96$  a  $+1,96$ ), a hipótese (de as médias não diferirem estatisticamente) é rejeitada; ou seja, existe evidência suficiente para concluir que a média foi alterada significativamente.

Os exemplos apresentados mostram que as duas áreas se complementam na atividade de análise de dados: enquanto na estimação, estabelecemos um intervalo dentro do qual se encontrará o verdadeiro valor do parâmetro

(incerteza da estimativa), no teste de hipóteses verificamos se uma estimativa do valor de uma característica (por exemplo uma média) é estatisticamente diferente de um valor assumido/calculado como referência.

Depois destes primeiros exemplos, iremos detalhar um pouco mais cada uma destas grandes áreas da inferência estatística.

## 4.1. LIMITES DE CONFIANÇA

Ao valor estimado para um parâmetro, através de uma amostra representativa da população, está sempre associado um intervalo de confiança, com os respetivos limites de confiança e a probabilidade associada a esse intervalo.

Se estimarmos a média da população  $\mu$ , através da média de uma amostra  $\bar{X}$ , teremos:

$$P\left(\bar{X} - 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 0,95$$

ou seja, o intervalo de confiança a 95% é  $\bar{X} \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ .

Este intervalo tem 95% de probabilidades de incluir o verdadeiro valor da média da população.

(1,96 é obtido da tabela de uma curva normal para os valores de  $1 - 0,025 = 0,975$  e  $1 - 0,975 = 0,025$ ).

Para o caso apresentado anteriormente das peças esmaltadas em que a média era 65,52 e o desvio padrão 1:

$$\bar{X} \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 65,52 \pm 1,96 \frac{1}{\sqrt{n}} = 64,9 \quad \text{e} \quad 66,14$$

Neste caso, os limites do intervalo de confiança são: 64,9 e 66,14. O nível de confiança é 5%, sendo o grau de confiança de 95%.

Para o cálculo dos limites de confiança, apresenta-se de seguida uma tabela resumo com as fórmulas de cálculo mais usuais:

## 4.1.2. Resumo das fórmulas de cálculo para os limites de confiança

Tabela 1.1. Resumo das fórmulas de cálculo para os limites de confiança

Parâmetros	Fórmulas
1. Média de uma população normal (desvio padrão conhecido)	$\bar{X} \mp Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ <p>onde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\bar{X}</math> = média da amostra</li> <li><math>Z</math> = coeficiente da distribuição normal</li> <li><math>\sigma</math> = desvio padrão da população</li> <li><math>n</math> = dimensão da amostra</li> </ul>
2. Média de uma população normal (desvio padrão desconhecido)	$\bar{X} \mp t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ <p>onde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>t</math> = coeficiente de distribuição de Student (com <math>n - 1</math> graus de liberdade)</li> <li><math>s</math> = <math>\sigma</math> estimado</li> </ul>
3. Desvio padrão de uma população normal	$\text{Limite superior} = s \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{\alpha/2}}}$ $\text{Limite inferior} = s \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{1-\alpha/2}}}$ <p>onde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\chi^2</math> = coeficiente de distribuição Qui-quadrado (com <math>n - 1</math> graus de liberdade)</li> <li><math>1 - \alpha</math> = grau de confiança</li> </ul>
4. Fração defeituosa da população	Ver tabela <i>Limites de confiança a 95% para p</i>
5. Diferença entre as médias de duas populações normais (desvio padrão $\sigma_1$ e $\sigma_2$ conhecidos)	$(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \mp Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$
6. Diferença entre as médias de duas populações normais ( $\sigma_1 = \sigma_2$ mas desconhecidos)	$(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \mp t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \times$ $\times \sqrt{\frac{\sum (X - X_1)^2 + \sum (X - X_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}}$
7. MTBF ( <i>Mean time between failures</i> ) baseado numa população exponencial de tempo entre falhas	$\text{Limite inferior} = \frac{2rm}{\chi^2_{1-\alpha/2}}$ $\text{Limite superior} = \frac{2rm}{\chi^2_{\alpha/2}}$ <p>onde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>r</math> = número de ocorrências na amostra (ex.: número de falhas)</li> <li><math>m</math> = MTBF da amostra</li> <li>Graus de liberdade = <math>2r</math></li> </ul>

Fonte: Juran & Gryna (1993).

### 4.1.3. Alguns exemplos de aplicação

◆ *EXEMPLO 1: (média de uma população normal)*

10 anilhas de mola têm um diâmetro médio de 2,092 cm e um desvio padrão de 0,022 cm. Determinar os limites de confiança a 95% para a média.

*SOLUÇÃO:*

Como o desvio padrão da população é desconhecido teremos de usar uma estimativa e a distribuição  $t$  de Student.

O valor de  $t$  para 95% encontra-se na tabela respetiva com 0,975 (2,5% para cada lado) e 9 graus de liberdade.

$$t = 2,262$$

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}} = 2,092 \pm 2,262 \frac{0,022}{\sqrt{10}} \begin{array}{l} 2,1077 \\ \text{e} \\ 2,0763 \end{array}$$

Sendo  $s$  o desvio padrão da amostra.

◆ *EXEMPLO 2: (média de uma população exponencial)*

Um sistema reparável de radar operou durante 1200H, durante as quais ocorreram 8 falhas. Quais são os limites de confiança a 90% do MTBF (*Mean Time Between Failure*)?

*SOLUÇÃO: Estimação de  $m = \frac{1200}{8} = 150 H$  entre falhas.*

$m =$  Tempo médio entre falhas na amostra

$$\text{Limite Superior} = \frac{2rm}{\chi_{\alpha/2}^2} = \frac{2 \times 8 \times 150}{7,962} = 301,4$$

$$\text{Limite Inferior} = \frac{2rm}{\chi_{1-\alpha/2}^2} = \frac{2 \times 8 \times 150}{26,296} = 91,3$$

onde:  $r =$  número de falhas na amostra

$m =$  MTBF

graus de liberdade =  $2r$

Os valores de 7,962 e 26,296 são obtidas da tabela da distribuição do  $\chi^2$  (Qui-quadrado):

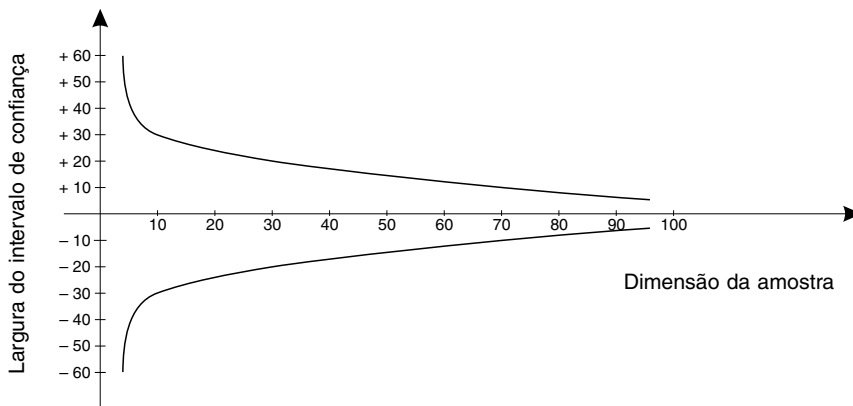
$$\frac{\alpha}{2} = 0,05 \Rightarrow \chi_{0,05}^2 = 7,962$$

$$1 - \frac{\alpha}{2} \Rightarrow \chi_{0,95}^2 = 26,296$$

#### 4.1.4. Exatidão da estimativa

Exatidão refere-se à concordância entre a estimativa e o verdadeiro valor do parâmetro da população.

**Amplitude do Intervalo de Confiança versus a dimensão da amostra**



Da análise do gráfico resulta que a exatidão depende, fortemente, da dimensão da amostra e não da dimensão da amostra expressa em percentagem da população.

#### ■ DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA AMOSTRA PARA UMA EXATIDÃO ESPECÍFICA

##### ◆ EXEMPLO

Pretende-se que o intervalo de confiança da vida média de umas pilhas seja de  $\pm 2 h$  e o grau de confiança 95%. O desvio padrão é  $\sigma = 10$  horas. Qual deve ser a dimensão da amostra?

### Estatística para a Qualidade



**ANTÓNIO RAMOS PIRES** é licenciado em Engenharia Eletrotécnica pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC), pós-graduado em Engenharia da Qualidade pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Nova de Lisboa (FCTUNL), mestre em Controlo e Garantia da Qualidade (Universidade de Cranfield) e doutor em Engenharia Industrial (FCTUNL). Foi Professor Coordenador no Instituto Politécnico de Setúbal. Na sua atividade académica destaca-se uma vastíssima monografia (mais de uma centena e meia de publicações entre livros, manuais e artigos), a lecionação em mestrados na área da gestão da qualidade e a participação em seminários e congressos nacionais e internacionais. Paralelamente a esta atividade, foi responsável pela implementação de técnicas e métodos de gestão da qualidade num vasto número de organizações em diversos setores da indústria, serviços e administração pública, a nível nacional e internacional. Em 1999 e 2000 foi Presidente do Instituto Português da Qualidade. Entre 2008 e 2013 foi pró-Presidente do Instituto Politécnico de Setúbal para a Gestão da Qualidade e, entre 2012 e 2017, foi Presidente da Direção da APQ (Associação Portuguesa para a Qualidade).

As organizações precisam de usar mais técnicas e métodos de controlo e gestão e não menos que no passado recente. As técnicas estatísticas mais simples permitem ganhar significado e tirar proveito dos dados gerados pelas atividades internas e dar contributos ao entendimento das tendências nos mercados e contextos externos.

A competitividade obriga a dar resposta a maiores exigências dos clientes e outras partes interessadas, mantendo os preços a níveis aceitáveis, o que só pode ser conseguido através de processos robustos, seguros, flexíveis e otimizados, em todas as fases do ciclo de vida dos produtos e serviços.

A crescente complexidade e incerteza, nas sociedades e nos mercados, necessita que os níveis de conhecimento sejam significativamente incrementados, sendo as técnicas estatísticas cada vez mais imprescindíveis para este efeito.

Este livro introduz as técnicas estatísticas mais simples de forma aplicada e próxima das práticas mais necessárias ao controlo e melhoria dos produtos, serviços e processos, através de muitos exemplos resolvidos e explicados, e interessa:

- aos gestores, que poderão extrair daqui uma ideia clara das técnicas estatísticas mais comuns, bem como as vantagens da sua aplicação;
- aos técnicos da qualidade, do ambiente, da segurança, e de outras áreas, que poderão encontrar uma sistematização de conceitos e um guia prático para o uso de técnicas estatísticas;
- aos estudantes de engenharia, gestão, economia, que poderão encontrar uma abordagem pragmática e profissionalizante de várias técnicas e métodos.

ISBN 978-972-618-957-2



9 789726 189572