

1

O Papel da Estatística na Engenharia

ESQUEMA DO CAPÍTULO

1.1 O MÉTODO DE ENGENHARIA E O JULGAMENTO ESTATÍSTICO

1.1.1 Engenharia e resolução de problemas

1.1.2 Julgamento Estatístico

1.2 COLETA DE DADOS EM ENGENHARIA

1.3 MODELOS MECANICISTAS E EMPÍRICOS

**1.4 PLANEJAMENTO DE INVESTIGAÇÕES
EXPERIMENTAIS**

**1.5 OBSERVAÇÃO DE PROCESSOS AO LONGO DO
TEMPO**

Objetivos de Aprendizagem

Após estudo cuidadoso deste capítulo você deverá ser capaz de:

1. Identificar o papel que a estatística desempenha no processo de resolução de problemas de engenharia;
2. Discutir como a variabilidade afeta os dados coletados e utilizados para a tomada de decisão em engenharia;
3. Explicar a diferença entre estudos enumeradores e analíticos;
4. Discutir os diferentes métodos que os engenheiros utilizam para coletar dados;
5. Identificar as vantagens que os estudos planejados possuem sobre os outros métodos de coleta de dados de engenharia;
6. Explicar as diferenças entre os modelos mecanicistas e empíricos;
7. Discutir como a probabilidade e os modelos probabilísticos são utilizados na engenharia e na ciência.

1.1 O Método de Engenharia e o Julgamento Estatístico

- Um **engenheiro** é alguém que resolve problemas de interesse da sociedade, pela aplicação eficiente de princípios científicos por:
 - refinamento de produtos ou processos existentes;
 - projeto de um novo produto ou processo.

1.1 O Método de Engenharia e o Julgamento Estatístico

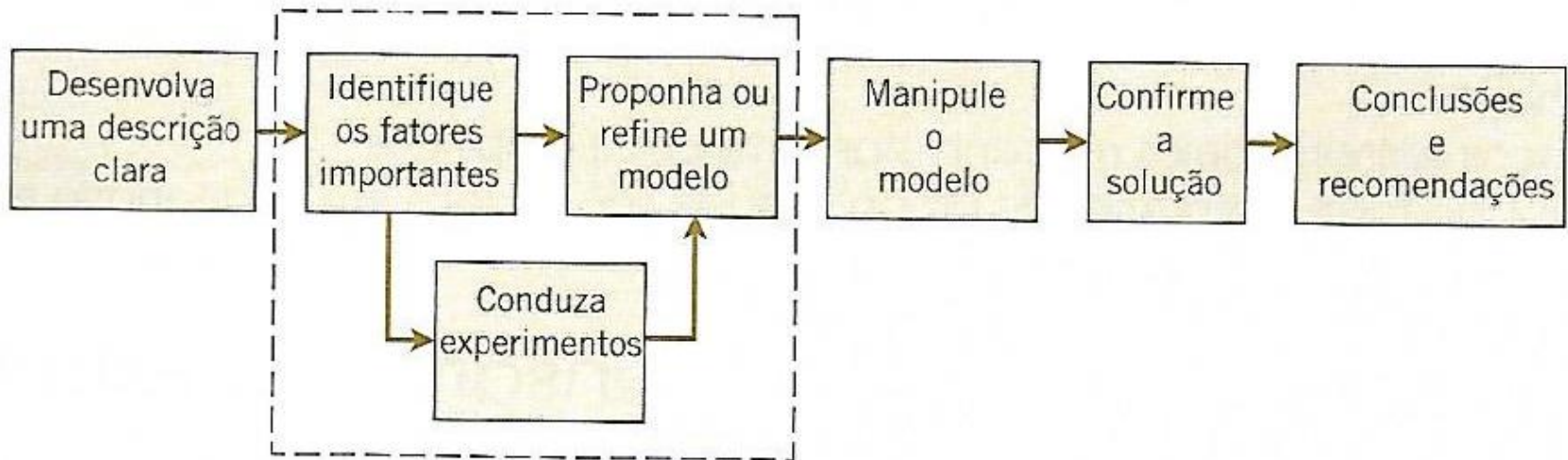


Fig. 1.1 O método de engenharia

1.1 O Método de Engenharia e o Julgamento Estatístico

- O campo da **estatística** lida com a coleta, apresentação, análise e uso dos dados para:
 - Tomar decisões;
 - Resolver problemas;
 - Planejar produtos e processos.

1.1 O Método de Engenharia e o Julgamento Estatístico

- Métodos estatísticos são usados para nos ajudar a entender a **variabilidade**;
- Por variabilidade, queremos dizer que sucessivas observações de um sistema ou fenômeno *não* produzem exatamente o mesmo resultado;
- A Estatística nos fornece uma estrutura para descrever essa variabilidade e para aprender sobre as **fontes de variabilidade** potenciais.

1.1 O Método de Engenharia e o Julgamento Estatístico

- Exemplo de engenharia:
 - Um engenheiro está projetando um conector de nylon para uma aplicação em um motor automotivo. O engenheiro considera estabelecer como especificação do projeto uma espessura de parede de $3/32$ polegadas, mas está inseguro sobre o efeito desta decisão na força de remoção do conector. Se a força for muito baixa, o conector pode falhar quando instalado no motor. Oito (8) unidades do protótipo são produzidas e suas forças de remoção são medidas, resultando nos seguintes dados (em libras-pé):
 - 12,6; 12,9; 13,4; 12,3; 13,6; 13,5; 12,6; 13,1.

1.1 O Método de Engenharia e o Julgamento Estatístico

- Exemplo de engenharia:
 - O **diagrama de pontos** é um gráfico bastante útil para exibir um pequeno conjunto de dados, isto é, cerca de 20 observações;
 - Este gráfico nos permite ver facilmente duas características dos dados; a **localização**, ou o meio, e o **espalhamento** ou a **variabilidade**.



Fig. 1.2 Diagrama de pontos dos dados de força de remoção, para uma espessura de 3/32 polegadas

1.1 O Método de Engenharia e o Julgamento Estatístico

- Exemplo de engenharia:
 - O engenheiro considera um projeto alternativo e oito (8) protótipos são construídos e as forças de remoção são medidas;
 - O diagrama de pontos pode ser utilizado para comparar estas duas alternativas.



Fig. 1.3 Diagrama de pontos dos dados de força de remoção para duas espessuras de parede

1.1 O Método de Engenharia e o Julgamento Estatístico

- Exemplo de engenharia:
 - Como as forças de remoção exibem variabilidade, elas são uma **variável aleatória**;
 - Uma variável aleatória, X , pode ser modelada por:
 - $X = \mu + \varepsilon$,
onde μ é uma constante e ε é um distúrbio aleatório.

1.1 O Método de Engenharia e o Julgamento Estatístico

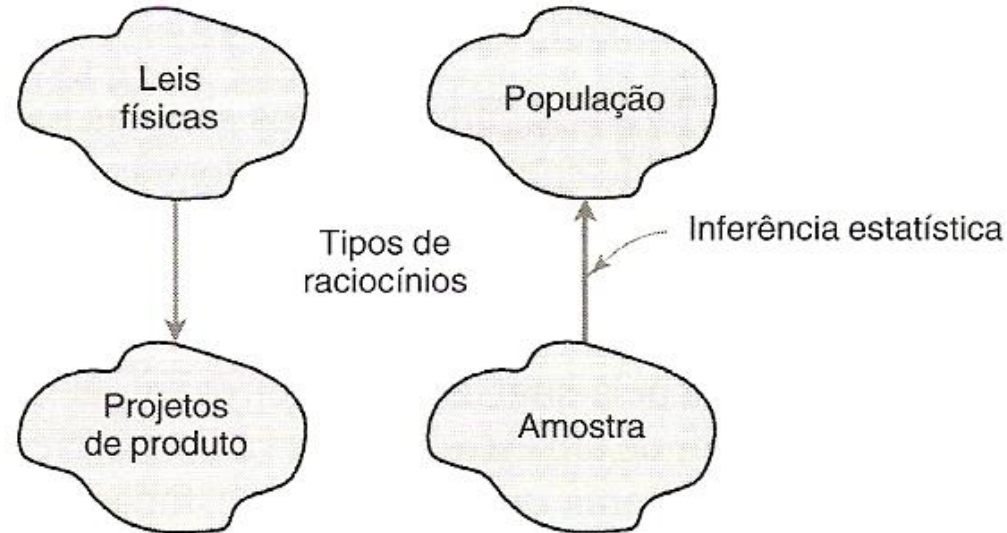


Fig. 1.4 Inferência estatística é um tipo de raciocínio

1.2 Coleta de Dados de Engenharia

1.2.2 Estudo retrospectivo:

- por meio de dados históricos;

1.2.3 Estudo de observação:

- obtenção de dados à medida que se tornem disponíveis;

1.2.4 Experimentos planejados:

- Exemplo: Estudo da força de remoção do conector de náilon;
- Abordagem poderosa para sistemas complexos;

1.2 Coleta de Dados de Engenharia

1.2.4 Experimentos planejados (cont.):

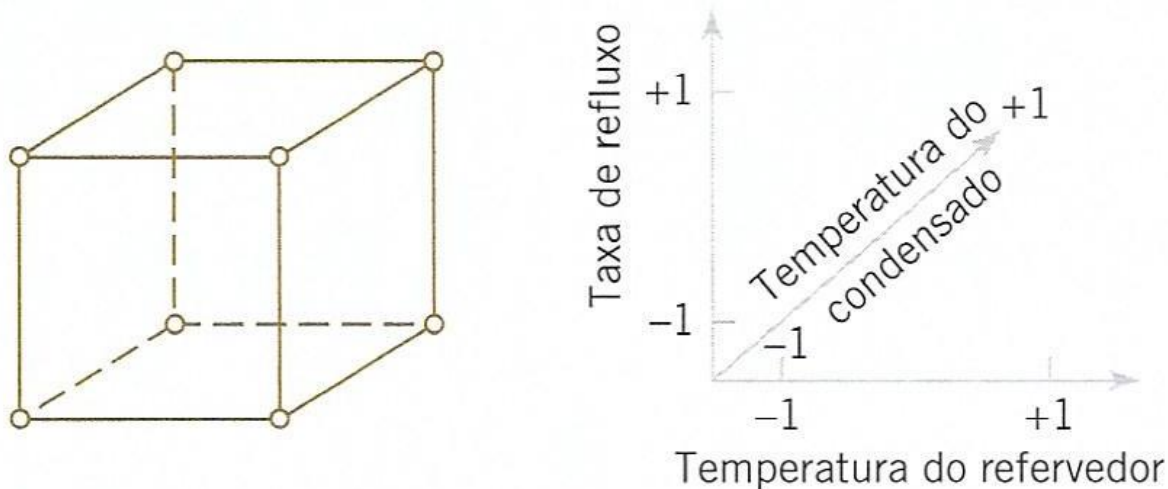


Fig. 1.5 Planejamento fatorial para a coluna de destilação

1.2 Coleta de Dados de Engenharia

1.2.4 Experimentos planejados (cont.):

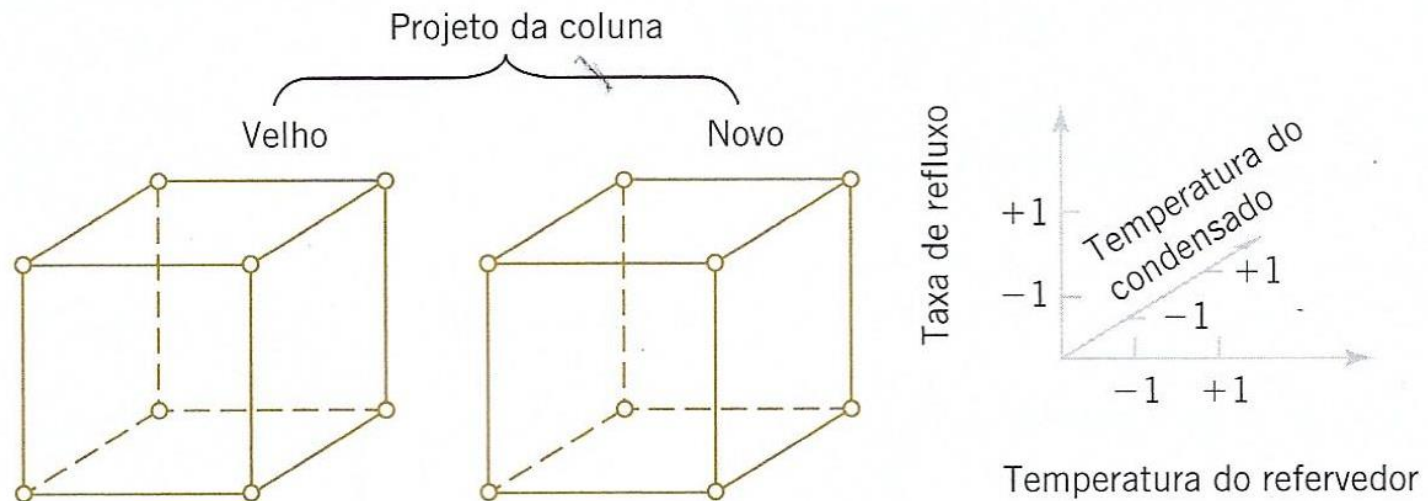


Fig. 1.6 Experimento fatorial com quatro fatores para a coluna de destilação

1.2 Coleta de Dados de Engenharia

1.2.4 Experimentos planejados (cont.):

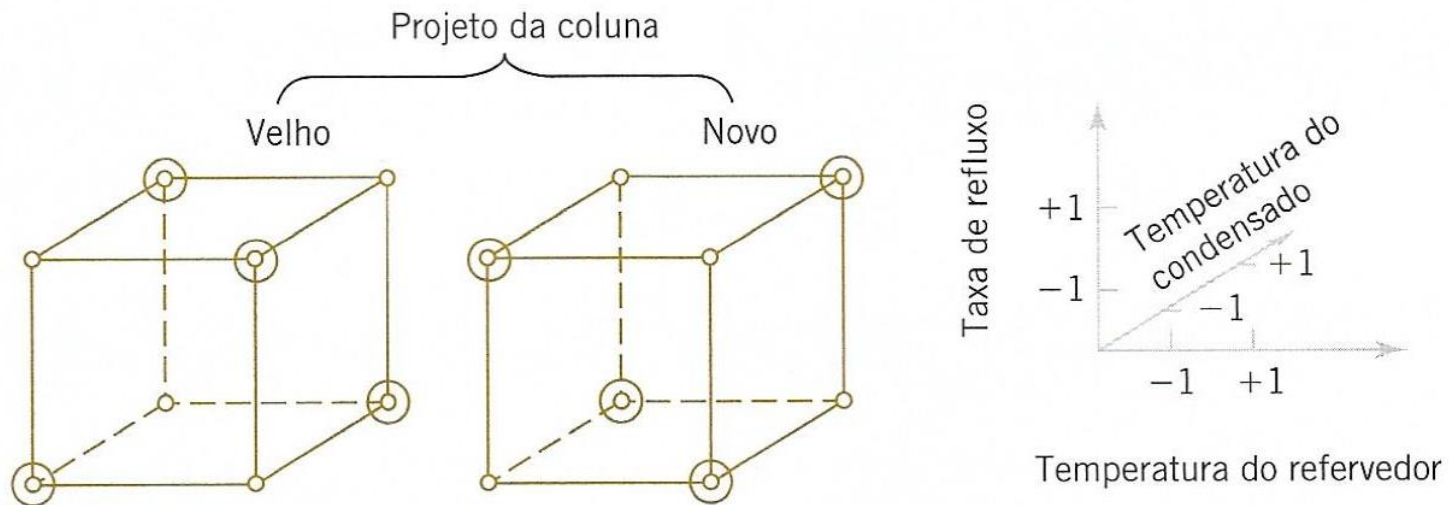


Fig. 1.7 Experimento fatorial fracionário para a coluna de destilação

1.2 Coleta de Dados de Engenharia

1.2.5 Observando processos ao longo do tempo:

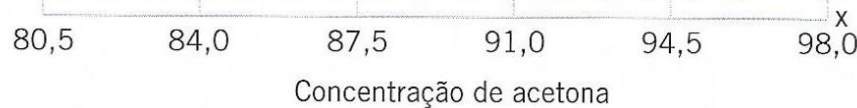


Fig. 1.8 Diagrama de pontos ilustra variação, mas não identifica problema

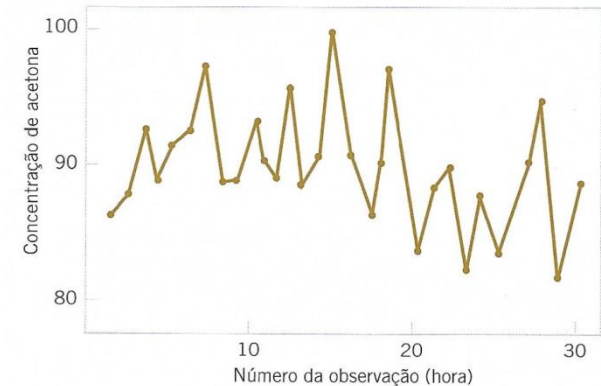


Fig. 1.9 Diagrama de séries temporais fornece mais informações

1.2 Coleta de Dados de Engenharia

1.2.5 Observando processos ao longo do tempo (cont.):

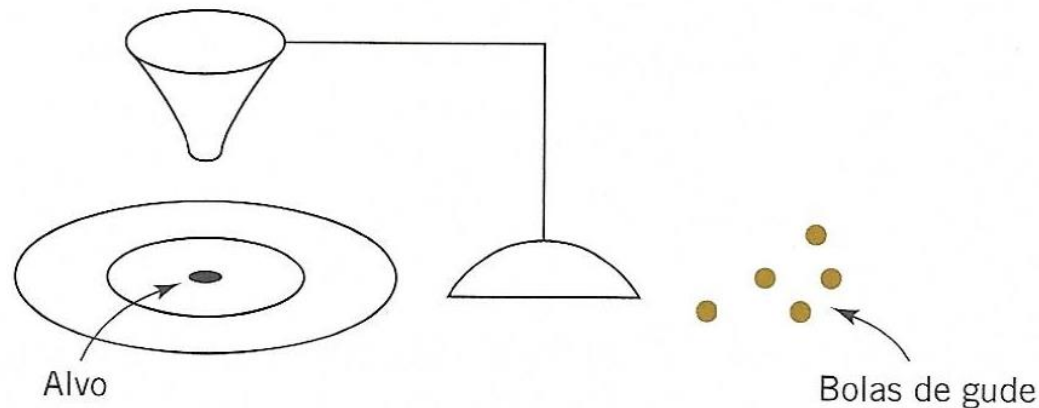


Fig. 1.10 Experimento de Deming

1.2 Coleta de Dados de Engenharia

1.2.5 Observando processos ao longo do tempo (cont.):

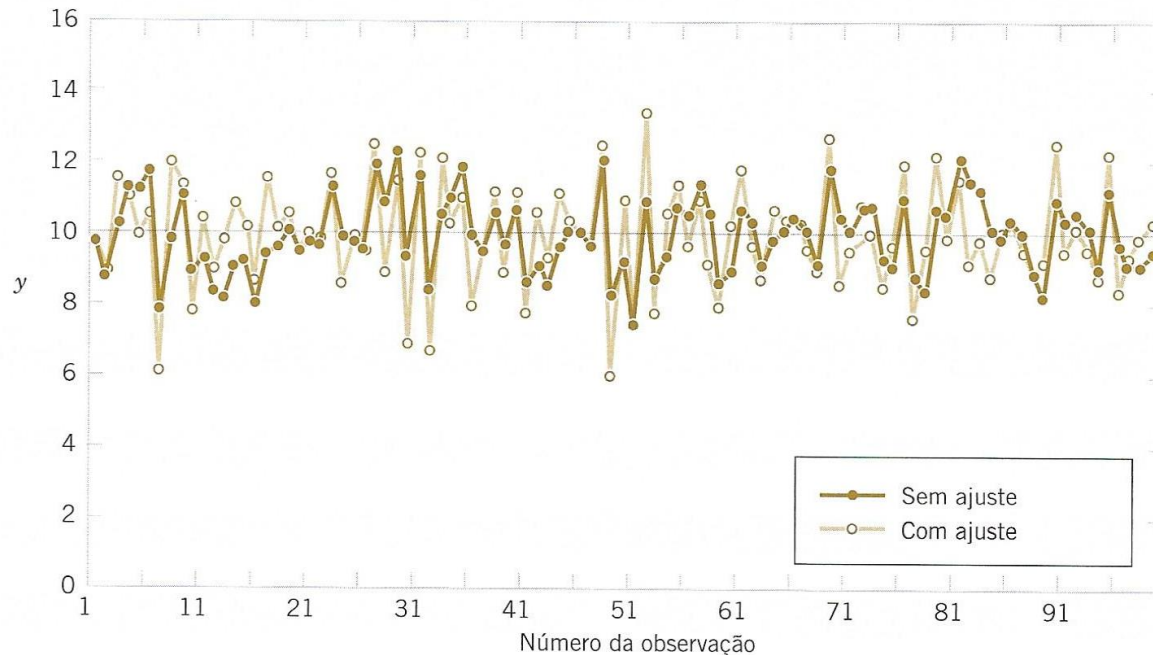


Fig. 1.11 Ajustes aplicados a perturbações aleatórias controlam em demasia o processo e aumentam os desvios em relação ao alvo

1.2 Coleta de Dados de Engenharia

1.2.5 Observando processos ao longo do tempo (cont.):

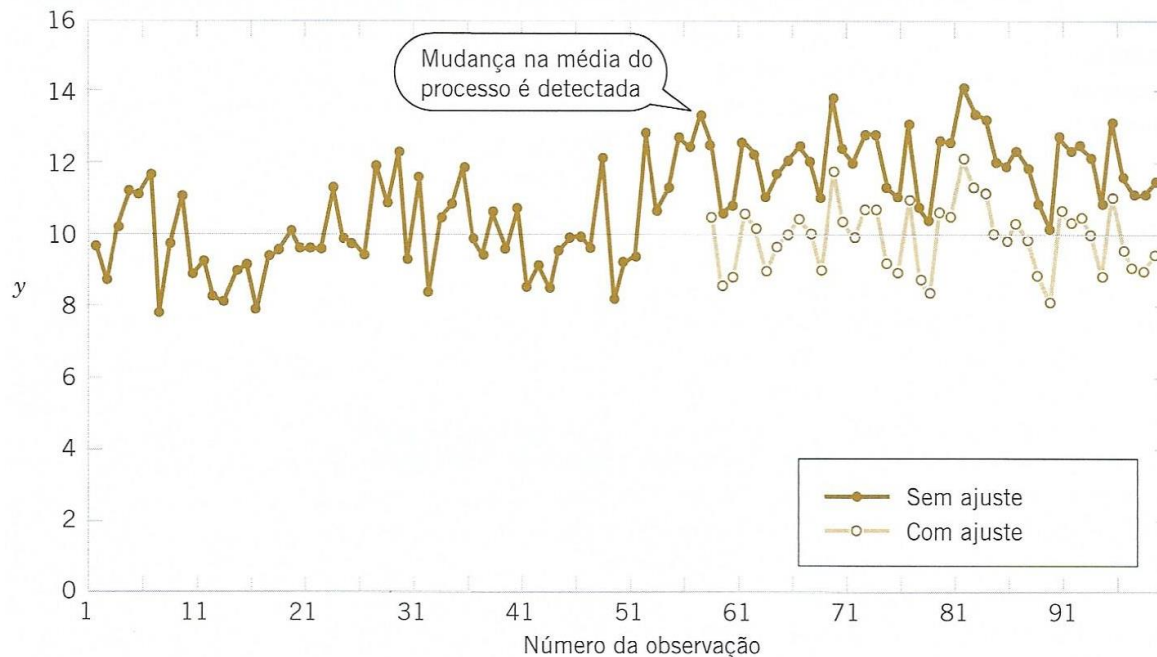


Fig. 1.12 A mudança na média do processo é detectada na observação de número 57 e um ajuste

1.2 Coleta de Dados de Engenharia

1.2.5 Observando processos ao longo do tempo (cont.):

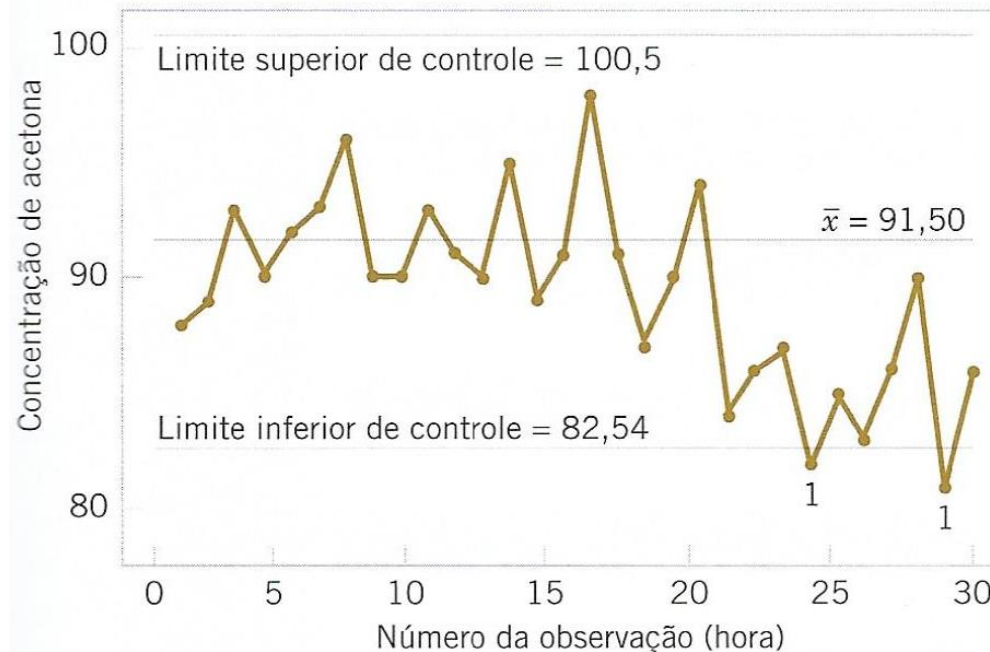


Fig. 1.13 Um gráfico de controle para os dados de concentração de um processo químico

1.2 Coleta de Dados de Engenharia

1.2.5 Observando processos ao longo do tempo (cont.):

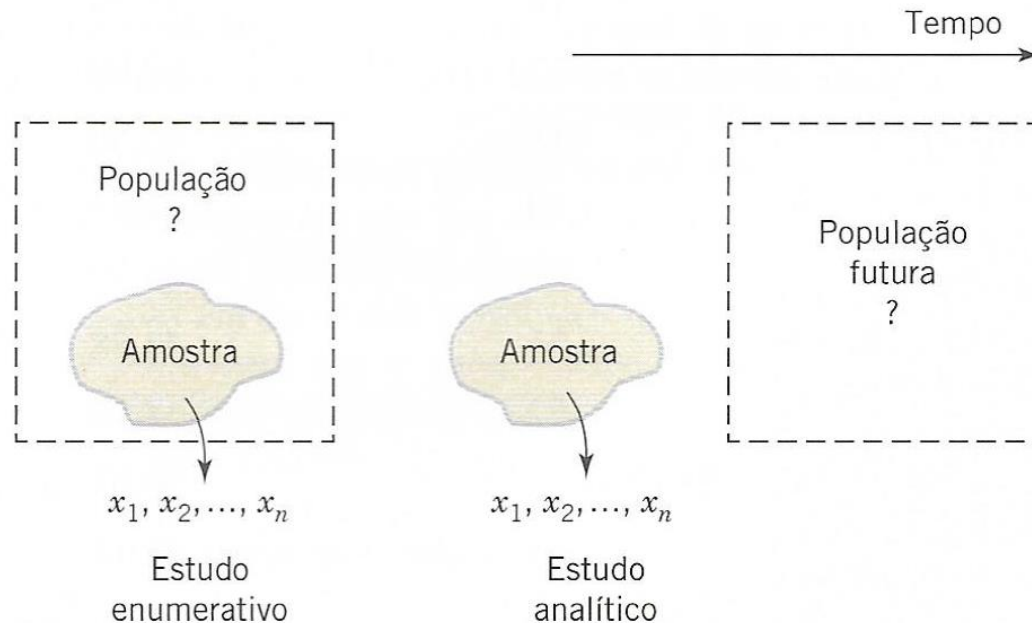


Fig. 1.14 Estudo enumerativo *versus* estudo analítico

1.3 Modelos Mecanicistas e Empíricos

- Um **modelo mecanicista** é construído a partir de nossos conhecimento do mecanismo físico básico que relaciona essas variáveis;
- Exemplo, Lei de Ohm:
 - corrente = tensão / resistência,
 - ou
 - $I = E/R$;
- Modelo melhor:
 - $I = E/R + \varepsilon$

1.3 Modelos Mecanicistas e Empíricos

- Um **modelo empírico** é construído do uso da nossa engenharia e do nosso conhecimento científico do fenômeno, porém não é diretamente desenvolvido a partir de nosso conhecimento teórico ou dos princípios fundamentais do mecanismo básico.

1.3 Modelos Mecanicistas e Empíricos

- Exemplo:
 - Suponha que estejamos interessados no peso molecular médio (M_n) de um polímero. Agora, sabemos que M_n está relacionado à viscosidade (V) do material e também depende da quantidade de catalizador (C) e da temperatura (T) no reator de polimerização, quando o material é fabricado. A relação entre M_n e essas variáveis é:

$$M_n = f(V, C, T),$$

em que a forma da função f é desconhecida.

- Um modelo de trabalho via expansão em série de Taylor pode ser:

$$M_n = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 C + \beta_3 T + \epsilon$$

em que os β 's são parâmetros desconhecidos.

1.3 Modelos Mecanicistas e Empíricos

- Exemplo 2:
 - Na Tab. 1.2, há dados referentes a um planta de fabricação de semicondutores. O semicondutor é um arame colado a uma estrutura. As variáveis reportadas são a resistência à tração y (uma medida da quantidade de força requerida para romper a cola), o comprimento do arame x_1 e a altura da matriz x_2 . Gostaríamos de encontrar um modelo relacionando a resistência à tração ao comprimento do arame e à altura da matriz (note que esse é um exemplo de um estudo observacional).

Tab. 1.2 Dados sobre resistência de tração do fio colado

Número da Observação	Resistência à Tração y	Comprimento do Fio x_1	Altura do Molde x_2
1	9,95	2	50
2	24,45	8	110
3	31,75	11	120
4	35,00	10	550
5	25,02	8	295
6	16,86	4	200
7	14,38	2	375
8	9,60	2	52
9	24,35	9	100
10	27,50	8	300
11	17,08	4	412
12	37,00	11	400
13	41,95	12	500
14	11,66	2	360
15	21,65	4	205
16	17,89	4	400
17	69,00	20	600
18	10,30	1	585
19	34,93	10	540
20	46,59	15	250
21	44,88	15	290
22	54,12	16	510
23	56,63	17	590
24	22,13	6	100
25	21,15	5	400

1.3 Modelos Mecanicistas e Empíricos

- Em geral, este tipo de modelo empírico é denominado **modelo de regressão**:

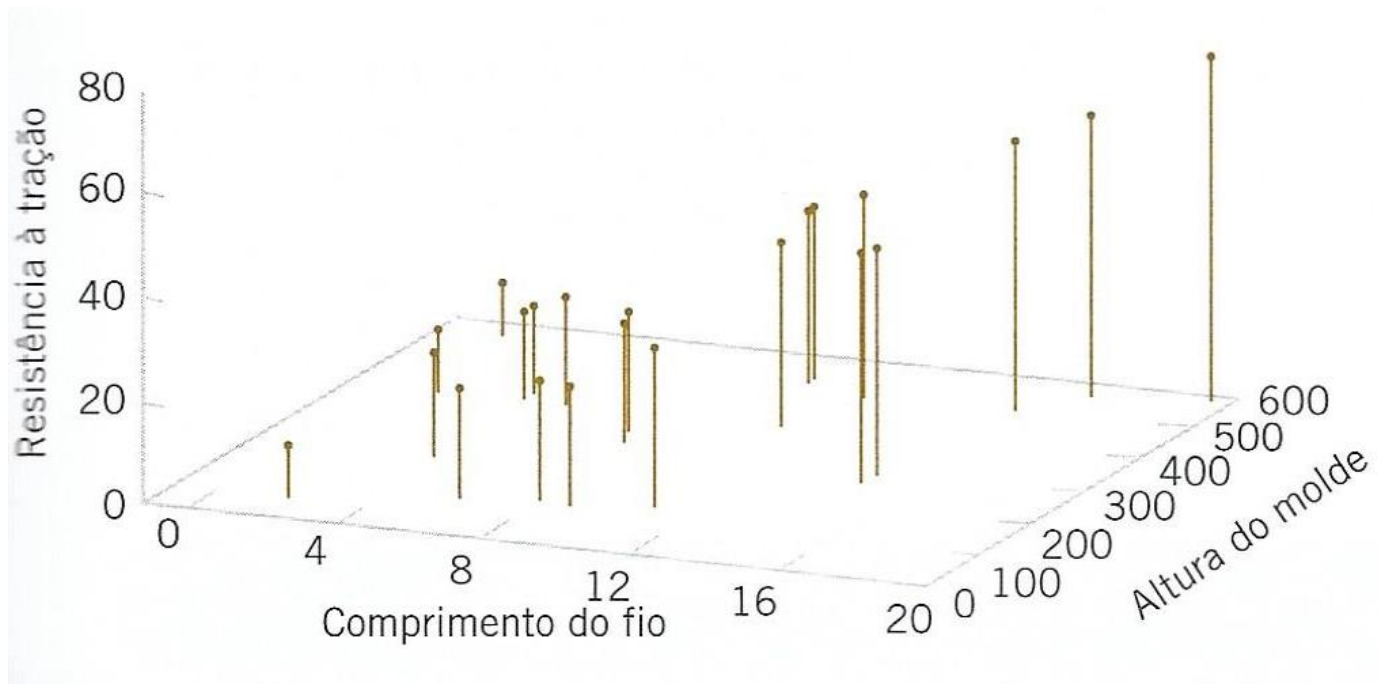
$$\text{Resistência à tração} = \beta_0 + \beta_1(\text{comprimento do fio}) + \beta_2(\text{altura do molde}) + \varepsilon$$

- O modelo de regressão **estimado** é dado por:

$$\text{Resistência à tração} = 2,26 + 2,74(\text{comprimento do fio}) + 0,0125(\text{altura do molde})$$

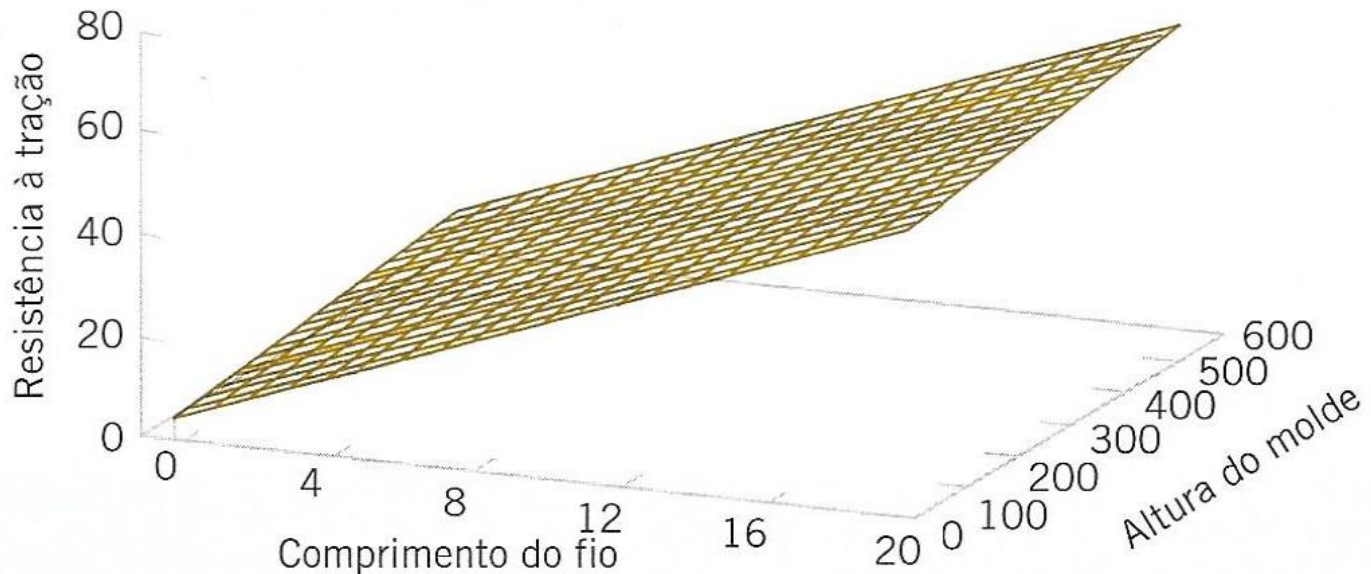
1.3 Modelos Mecanicistas e Empíricos

- A figura representa um gráfico tridimensional de todas as 25 observações da resistência à tração, comprimento do arame e altura do molde.



1.3 Modelos Mecanicistas e Empíricos

- A figura representa um gráfico dos valores previstos da resistência à tração *versus* o comprimento do arame e altura do molde, obtidos a partir da equação do modelo de regressão estimado.



1.4 Probabilidade e Modelos de Probabilidade

- Os **modelos de probabilidade** auxiliam na quantificação do risco envolvido na inferência estatística, ou seja, o risco envolvido nas decisões tomadas diariamente;
- A probabilidade fornece uma **estrutura** para o estudo e a aplicação da estatística.

TERMOS E CONCEITOS IMPORTANTES

Estudo analítico	Experimento fatorial fracionado	População	Inferência estatística
Causa e efeito	Teste de hipóteses	Modelo de probabilidade	Controle estatístico de processos
Experimento planejado	Interação	Método de solução de problemas	Julgamento estatístico
Modelo empírico	Modelo mecanicista	Aleatorização	Ajuste no processo
Método de engenharia	Estudo observacional	Estudo retrospectivo	Séries temporais
Estudo enumerativo	Sobrecontrole	Amostra	Variabilidade