

Projeto Estatístico de Experimentos

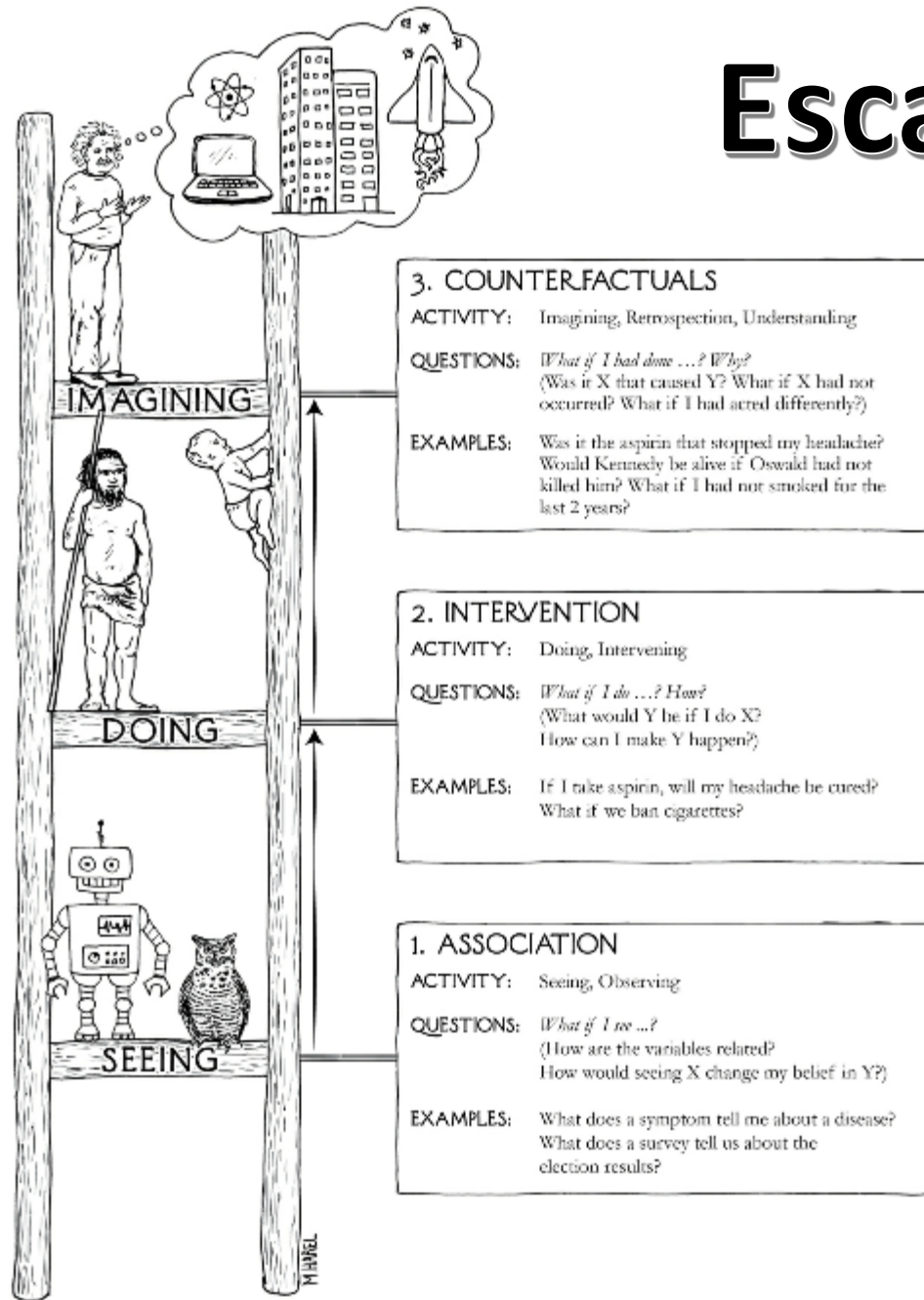
DoE

Design of Experiments

PME4363 ENGENHARIA DA QUALIDADE

Prof. Walter Ponge-Ferreira

Escada da Causalidade



Investigação Estruturada



Projeto Estatístico de Experimento



Machine Learning

Pearl, Judea & Mackenzie, Dana **The Book of Why**
– **The new Science of cause and effect.** Basic Books,
New York. 2018.

1. ASSOCIATION

ACTIVITY: Seeing, Observing

QUESTIONS: What if I see ...?
 (How are the variables related?
 How would seeing X change my belief in Y?)

EXAMPLES: What does a symptom tell me about a disease?
 What does a survey tell us about the election results?

2. INTERVENTION

ACTIVITY: Doing, Intervening

QUESTIONS: What if I do ...? How?
 (What would Y be if I do X?
 How can I make Y happen?)

EXAMPLES: If I take aspirin, will my headache be cured?
 What if we ban cigarettes?

3. COUNTERFACTUALS

ACTIVITY: Imagining, Retrospection, Understanding

QUESTIONS: What if I had done ...? Why?
 (Was it X that cause Y? What if X had not occurred?
 What if I had acted differently?)

EXAMPLES: Was it the aspirin that stopped my headache?
 Would Kennedy be alive if Oswald had not killed him?
 What if I had not smoked for the last 2 years?

Objetivos

- Aplica-se a processos com saídas numéricas.
- Visa estudar as variáveis importantes que afetam o resultado.
- Visa selecionar as variáveis importantes entre as pouco influentes.
- Visa alterar o valor médio do processo.
- Visa reduzir a variabilidade do processo.
- Visa ajustar o processo de forma que fique robusto.

Fases do DoE

- Fase I – Experimentos Exploratórios

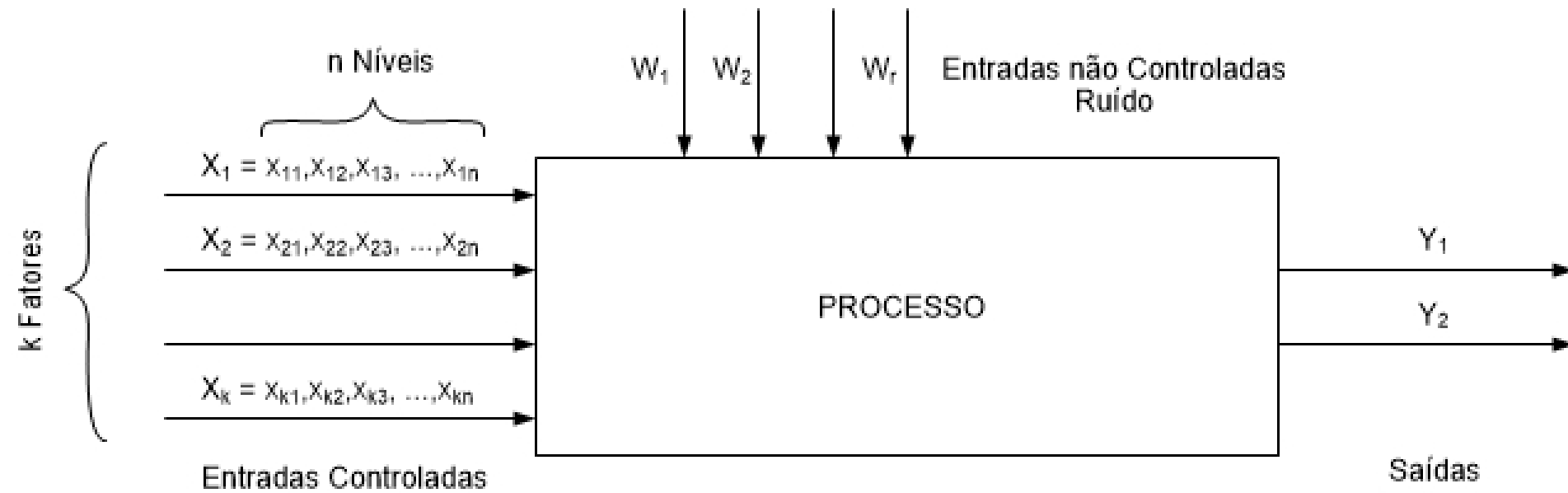
Finalidade de selecionar as variáveis significativas. Inclusão de muitas variáveis não fornecem informações seguras sobre interação de variáveis.

- Fase II – Experimentos Investigativos

Experimentos projetados para estudar a relação funcional entre variáveis de entrada (fatores), seus níveis e a variável de saída (resposta).

- Fase III – Otimização do Processo

Experimentos projetados para ajustar os efeitos de variáveis relevantes. Produz melhores informações sobre interação de variáveis.



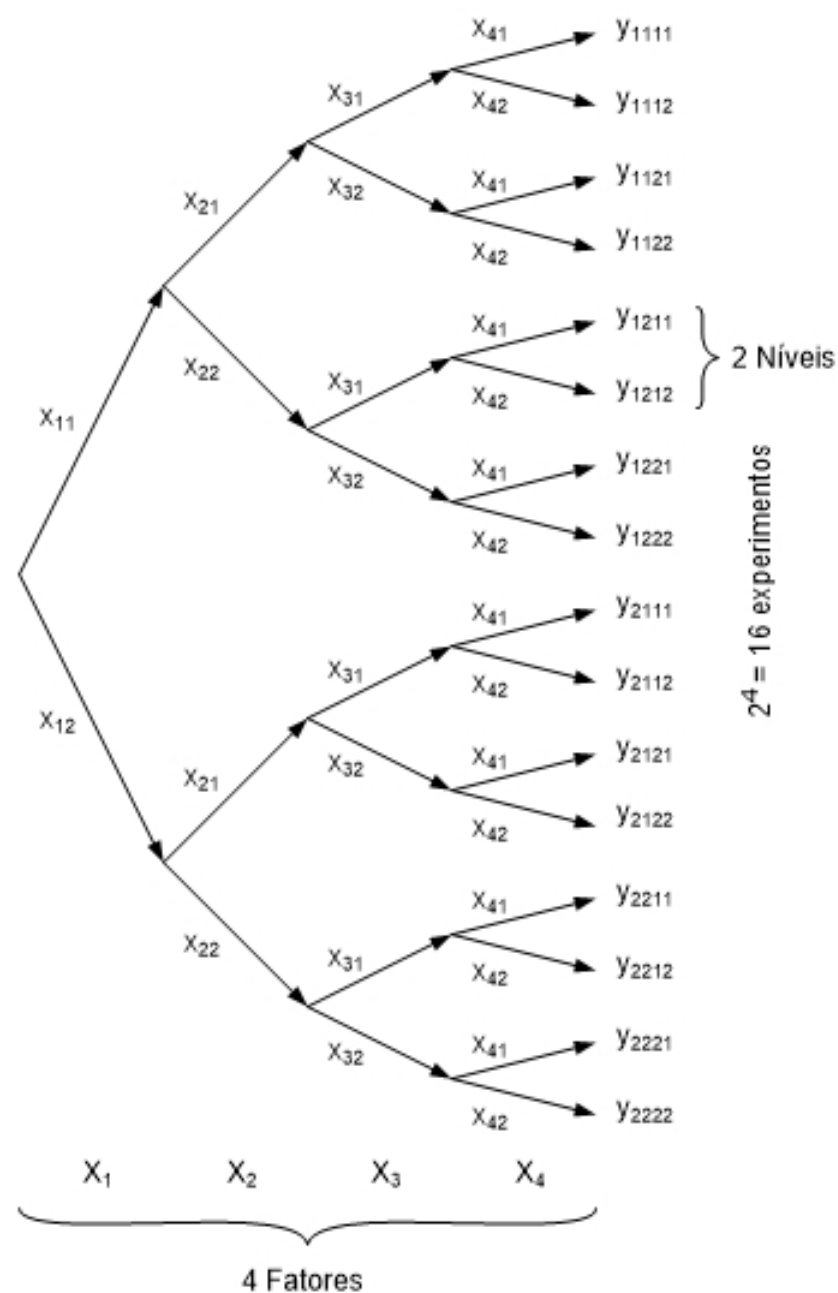
Procedimento

1. Identifique o processo a ser estudado e o objetivo do estudo.
2. Identifique a saída de interesse (**Resposta**).
3. Determine a **precisão** e **exatidão** exigida.
4. Identifique potenciais variáveis (**Fatores**) que afetam o resultado.
5. Escolha os valores das variáveis de entrada (**Níveis**).
6. Determine e documente o projeto do experimento:
 1. As diferentes combinações de níveis (**Tratamentos**).
 2. Número de repetições de cada tratamento (**Replicações**).
 3. Selecione a sequência de realização dos experimentos (**Aleatorização**).

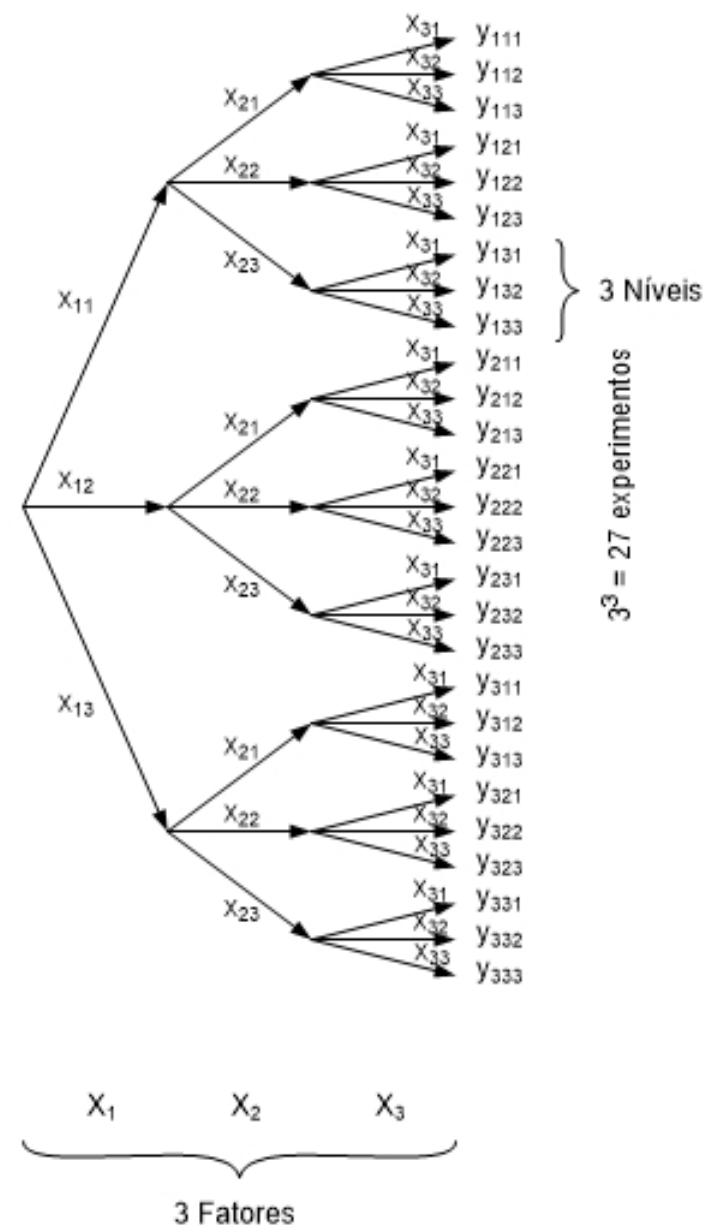
Procedimento

7. Identifique outras variáveis que poderiam afetar o experimento (**Ruído**). Estude como controlar ou pelo menos monitorar essas variáveis.
8. **Execute** os experimentos como planejado.
9. **Análise** os resultados e obtenha **conclusões**.
10. Caso as conclusões sugiram **melhorias no processo**, verifique esses resultados e **padronize o processo**.
11. Determine quais experimentos adicionais devem ser conduzidos. Repita o procedimento à partir o passo 5.

2^k FATORIAL



PROJETO n^k FATORIAL



<i>Fator</i>	<i>Níveis</i>	<i>Efeito</i>
<i>A</i>	+/-	α
<i>B</i>	+/-	β
<i>C</i>	+/-	γ

Modelo de Regressão

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Estimador

$$\hat{y} = b_0 + b_A x_A + b_B x_B + b_C x_C + b_{AB}(x_A \cdot x_B) + b_{AC}(x_A \cdot x_C) + b_{BC}(x_B \cdot x_C) + b_{ABC}(x_A \cdot x_B \cdot x_C)$$

Conclusões do Projeto

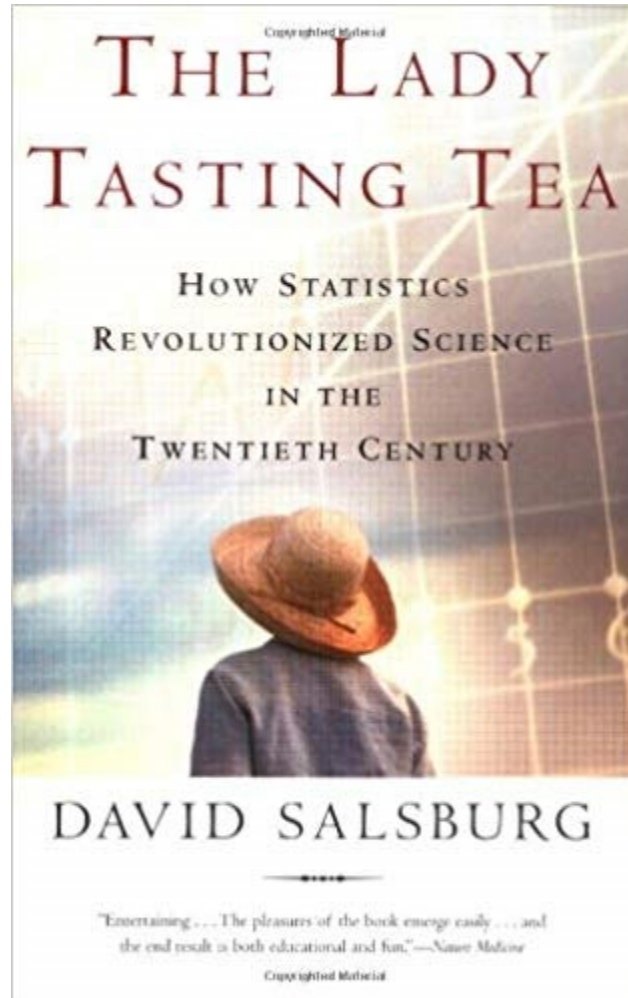
- **Valor esperado** (média) da **Resposta** para cada **Tratamento**.
- Determine os **efeitos** principais dos fatores.
- Determine os **efeitos das interações** de fatores.
- Realize **testes de hipóteses** sobre o significado dos efeitos.
- **Processo padronizado** para **otimização** do resultado e **robustez** do processo contra variáveis não controladas.

Tipos de Projeto de Experimento

- n^k Fatorial Completo
- Fatorial Fracionário (Possibilidade de haver *Confounding*)
- Experimentos com fatores bloqueados (*Blocking*)
- Quadrado Greco e Quadrado Latino
- Projeto Robusto de Taguchi
- Superfície de Resposta

Projeto:

Como produzir um café de qualidade?



Adaptação livre do problema de Ronald A. Fisher (1890-1962)

Ref.:

SALBURG, DAVID **The Lady Tasting Tea: How Statistics Revolutionized Science in the Twentieth Century.** 8th Ed., Henry Holt and Co. LLC, New York, 2002. 352 pg.

ISBN-10: 9780805071344

ISBN-13: 978-0805071344

Exemplo:

Design of Experiments with R

Cano et. al. Six Sigma with R - Statistical Engineering
for Process Improvement
Springer, UseR! Series, New York, 2012

Chapter 11 - Design of Experiments with R
#

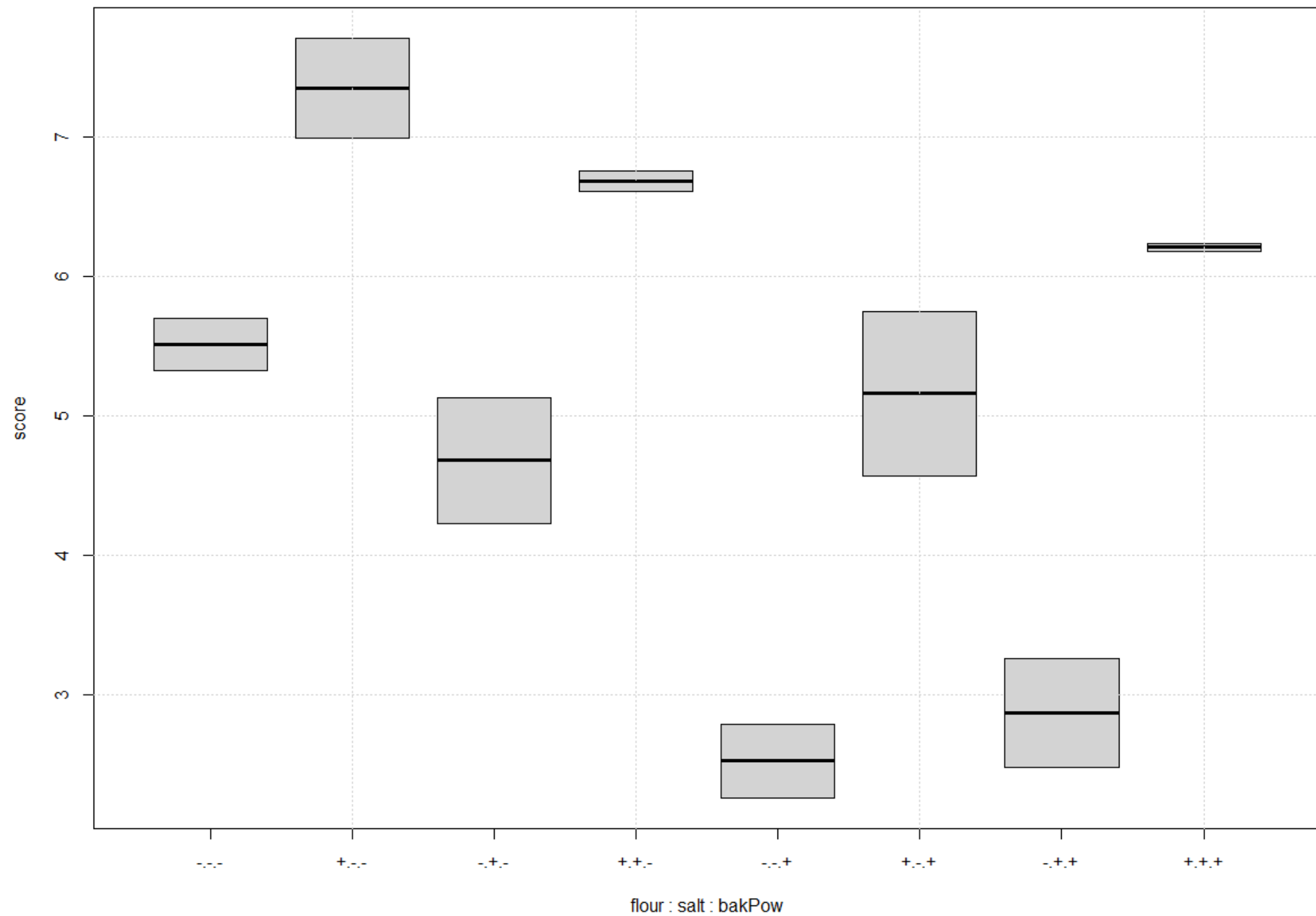
2³ - fatorial

Fatores	3
Níveis	2
Replicações	2
Tratamentos	8
Experimentos	16

Replicatio n	Flour	Salt	BakPow	Score	Order
1	-	-	-	5,33	8
2	+	-	-	6,99	6
3	-	+	-	4,23	5
4	+	+	-	6,61	3
5	-	-	+	2,26	7
6	+	-	+	5,75	2
7	-	+	+	3,26	1
8	+	+	+	6,24	4
9	-	-	-	5,70	8
10	+	-	-	7,71	6
11	-	+	-	5,13	5
12	+	+	-	6,76	3
13	-	-	+	2,79	7
14	+	-	+	4,57	2
15	-	+	+	2,48	1
16	+	+	+	6,18	4

Resultados (médios) dos Tratamentos

Tratamento	Flour	Salt	BakPow	Score
1	-	-	-	5,515
2	+	-	-	7,350
3	-	+	-	4,680
4	+	+	-	6,685
5	-	-	+	2,525
6	+	-	+	5,160
7	-	+	+	2,870
8	+	+	+	6,210



Welch Two Sample t-test

data: ss.data.doe1\$score[ss.data.doe1\$flour == "-"] and ss.data.doe1\$score[ss.data.doe1\$flour == "+"]

$t = -4.1777$, $df = 12.297$, $p\text{-value} = 0.001217$

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

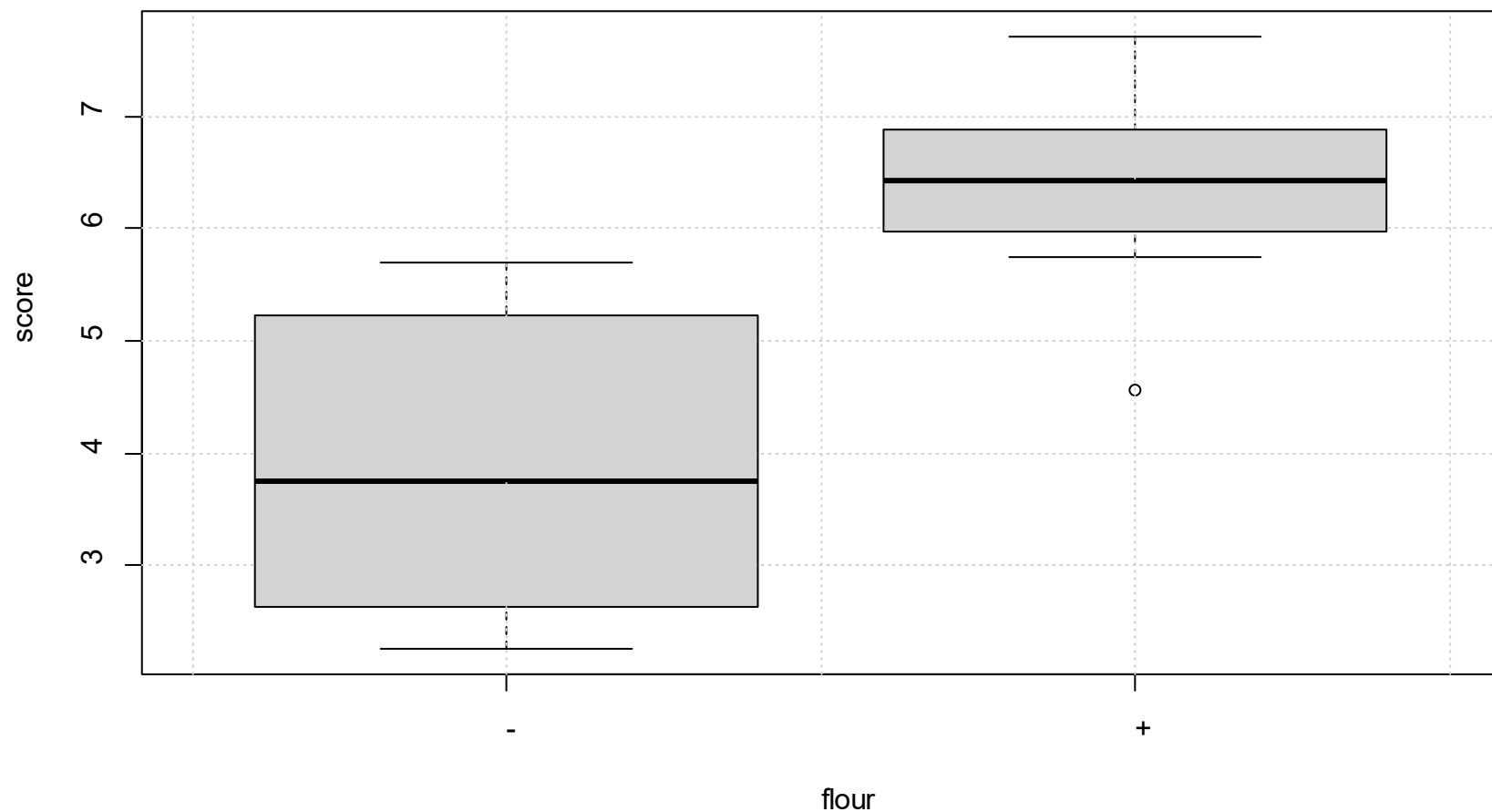
99 percent confidence interval:

-4.2399732 -0.6675268

sample estimates:

mean of x mean of y

3.89750 6.35125



Welch Two Sample t-test

data: ss.data.doe1\$score[ss.data.doe1\$salt == "-"] and ss.data.doe1\$score[ss.data.doe1\$salt == "+"]

$t = 0.029818$, $df = 13.704$, $p\text{-value} = 0.9766$

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

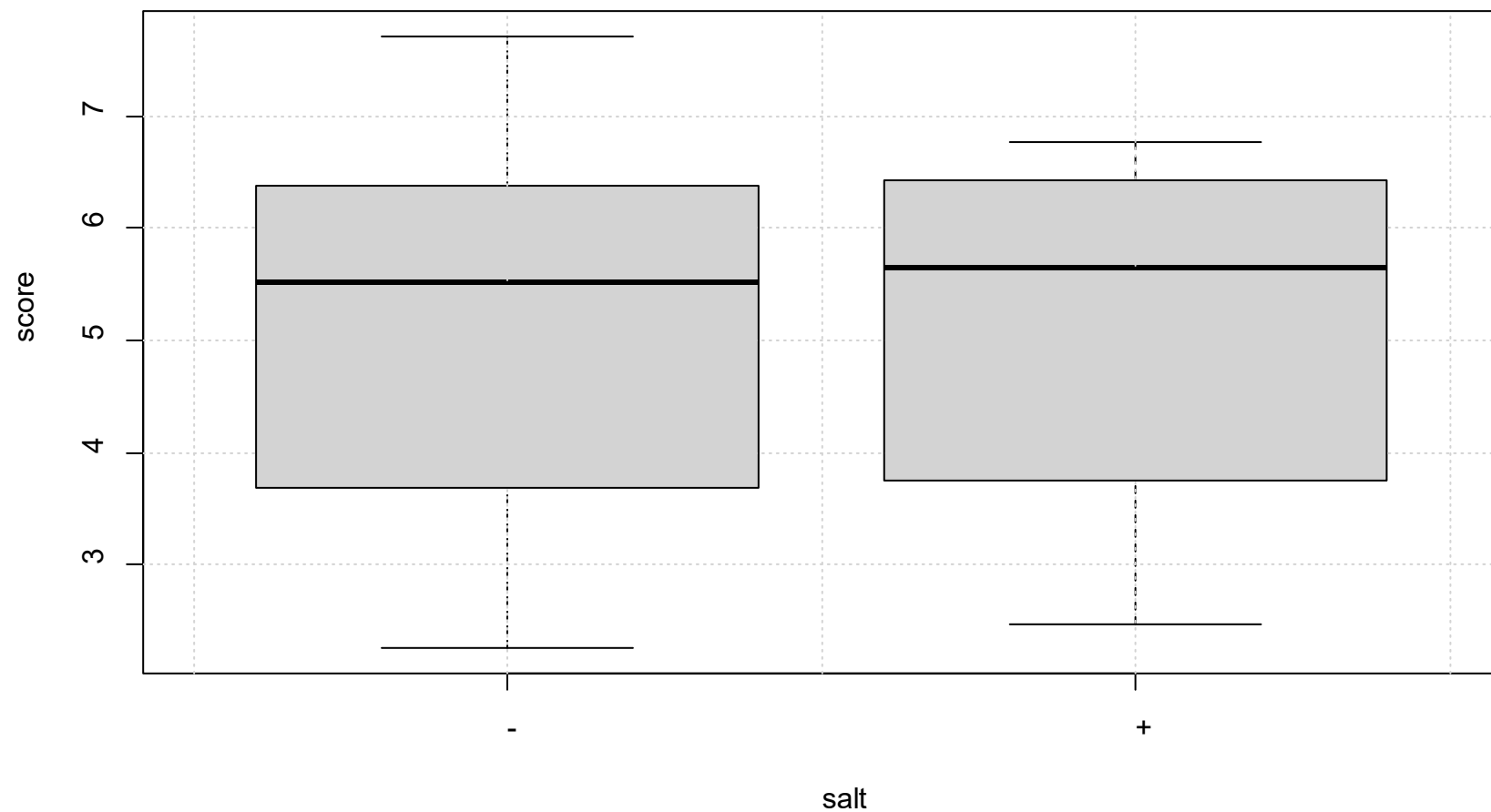
95 percent confidence interval:

-1.865719 1.918219

sample estimates:

mean of x mean of y

5.13750 5.11125



Welch Two Sample t-test

data: ss.data.doe1\$score[ss.data.doe1\$bakPow == "-"] and ss.data.doe1\$score[ss.data.doe1\$bakPow == "+"]

$t = 2.5726$, $df = 12.299$, $p\text{-value} = 0.02403$

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0.2899119 3.4425881

sample estimates:

mean of x mean of y

6.05750 4.19125

